7. E. Askenasy: Ueber einige Beziehungen zwischen Wachstum und Temperatur.

Eingegangen am 12. März 1890.

Obwohl in der letzten Zeit das Wachstum der Pflanzen nach verschiedenen Richtungen hin untersucht worden ist, so sind doch deren Beziehungen zur Temperatur nur selten erörtert worden, so dass man über die grundlegenden Ergebnisse der Arbeiten SACHS' im Wesentlichen nicht hinausgekommen ist. Insbesondere ist bisher die Frage, wie die Temperatur auf wachsende Theile wirkt, welche materiellen Veränderungen in diesen durch Schwankungen der Temperatur veranlasst werden, nicht einmal in klarer Weise gestellt worden, noch weniger ist mir bekannt, dass man die Lösung dieser Frage versucht hätte. Und doch wäre diese Lösung für die Kenntniss des Wachstums und der dabei thätigen Kräfte von grosser Bedeutung. Alles Wachstum wird ja von der Temperatur stark beeinflusst, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass die sonstigen äusseren und inneren Einflüsse auf wachsende Theile in analoger Weise einwirken, wie die verschiedene Höhe der Temperatur. Diese bietet aber für die experimentelle Untersuchung den Vorzug, dass man denselben Theil bei sehr verschiedener Temperatur, bald in lebhaftem, bald bei ganz still stehendem Wachstum beobachten und die etwaigen Unterschiede ermitteln kann, was bei den anderen das Wachstum beeinflussenden Factoren nicht so leicht zu erreichen ist.

Eine vollständige Untersuchung von wachsenden Pflanzentheilen bei verschiedener Temperatur wäre eine sehr ausgedehnte und umfangreiche Arbeit, die auch nicht an einer einzigen Pflanze ausgeführt werden könnte. Die nachfolgende Arbeit über das Verhalten der Wurzeln von *Zea Mais* mag als ein erster Versuch einer solchen Untersuchung angesehen werden.

Nicht alle Maissorten eignen sich gleich gut zu solchen Versuchen. Ich bediente mich des gewöhnlichen gelben, badischen Mais. Im übrigen wurden die Samen nach SACHS' ¹⁾ Vorschrift behandelt. Die in Sägespäne gekeimten Samen wurden weiter in cylindrischen Glasgefässen cultivirt, indem sie mit Silbernadeln an den mit Kork versehenen Glasstopfen dieser Gefässe befestigt wurden. Die Wurzeln

1) Arb. des bot. Inst. in Würzburg. I. 385.

tauchten in Wasser, das von der hiesigen Wasserleitung herrührte und nur wenig fremde Bestandtheile enthält. Um die Pflanzen in gleichmässiger Temperatur wachsen zu lassen, benutzte ich einen cylindrischen Wärmekasten, der mir von Herren Gebr. KÜHNE in freundlicher Weise zur Verfügung gestellt wurde. Derselbe besitzt doppelte Seitenwände und einen doppelwandigen Deckel mit Wasserfüllung. Die Höhe beträgt 65 *cm*, der innere lichte Durchmesser 22 *cm*. Dieser Apparat wurde mit Gas geheizt und der Gaszufluss durch einen REICHERT'schen Regulator geregelt. Die Temperatur erwies sich bei gehöriger Aufsicht als sehr constant.

Die Kenntniss des Wachstumsverlaufs unter gleichbleibenden äusseren Bedingungen ist die nothwendige Grundlage für alle vergleichenden Versuche an wachsenden Pflanzentheilen. Durch SACHS' Arbeiten weiss man, dass alle wachsenden Theile eine grosse Periode des Wachstums besitzen, d. h. dass deren Zuwachs in gleichen Zeiträumen anfangs gering ist, dann sich bis zu einer gewissen Höhe steigert, um später wieder abzunehmen. In Bezug auf die Wurzeln hat schon PEDERSEN¹⁾ bemerkt, dass die grosse Periode des Wachstums (als Curve gedacht) sehr flach verläuft. Ich kann dies für die Maiswurzeln bestätigen. Diese erreichen meist bei einer Länge von etwa 30—40 *mm* das Maximum ihres Zuwachses, der sich dann bis zum Hervorsprossen von Nebenwurzeln auf derselben Höhe hält. Letzteres erfolgt hier ziemlich rasch und plötzlich, wenn die Wurzeln eine gewisse Länge erreicht haben, in der Nähe des Optimum, meist bei etwa 130 *mm* Länge.

Die Nebenwurzeln sprossen früher aus, wenn das Wachstum des Hauptsprosses in Folge irgendwelcher schädlichen Einwirkungen minder kräftig ist; sie sprossen auch früher aus bei höherer Temperatur als bei niederer, und dem entsprechend tritt die Abnahme des Längenwachstums der Hauptwurzel früher oder später ein.

Aus sehr zahlreichen Beobachtungen will ich hier einige Angaben über Wachstum von solchen Wurzeln mittheilen, die sich durch besonders gleichmässiges und langdauerndes Wachstum auszeichnen. Die Zahlen geben die Länge der Wurzeln in Millimetern. V = Vormittag, N = Nachmittag. Unter Z ist der Zuwachs per Stunde aufgeführt. Die Temperatur, die auch in der Zeit zwischen den Beobachtungen sehr gleichförmig war, ist, wie in der ganzen Arbeit, in Graden Celsius angegeben.

No.	29. Mai		30. Mai		31. Mai		1. Juni	
	11h 23 N	8h 16 V Z	8h 10 N Z	8h 11 V Z	10h 8 N Z	8h 11 V Z	9h 14 N Z	
	20,6°	20,6°	21,0°	20,6°	22,6°	21,6°	24,4°	
1	50,5	67,5 1,9	91,5 2,0	114,5 1,9	140,0 1,8	157,5 1,8	180,0 1,7	
2	48,0	62,5 1,6	83,0 1,7	104,0 1,7	129,0 1,8	149,0 2,0	171,5 1,7	

1) Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. I. 569.

No.	1. Juni	2. Juni		3. Juni		4. Juni
	10h N 24,6°	9h 4 V Z 23,6°	9h 4 N Z 25,2°	9h 1 V Z 23,6°	9h 5 N Z 23,8°	9h 19 V Z 22,4°
1	28,0	47,0 1,7	70,5 1,9	96,0 2,1	116,5 1,7	134,0 1,5
2	24,5	45,5 1,9	68,5 1,9	95,5 2,2	122,0 2,2	147,0 2,1

No.	4. Juni	5. Juni	
	9h 15 N Z 21,5°	9h 18 N Z 21,5°	9h 18 N Z 23,3°
1	156,5 1,9	174,0 1,5	194,0 1,3
2	170,0 1,9	190,0 1,7	205,5 1,3

Es ist sehr wichtig, bei vergleichenden Versuchen nur mit gesunden Wurzeln zu arbeiten. Das einzige sichere Zeichen der Gesundheit einer Wurzel ist ein entsprechendes Wachstum. Ich habe darum immer das Wachstum der Wurzeln erst eine Zeit lang bei einer dem Optimum nahen Temperatur (26–29°) beobachtet und alle Wurzeln, die unter 1,7 mm stündlichen Zuwachs zeigten, verworfen. PEDERSEN bemerkt allerdings,¹⁾ „dass es nicht erlaubt wäre, jede langsam wachsende Wurzel als krank und abnorm zu betrachten, bloss deshalb, weil sie langsam wächst.“ Ich bin aber anderer Ansicht. Viele Umstände, die auf das Wachstum der Wurzeln ungünstig einwirken, sind uns nicht genügend bekannt, wir nehmen sie nur an ihren Folgen wahr, und wir werden sicherer gehen, wenn wir abnorm langsam wachsende Wurzeln verwerfen. Das abnorm langsame Wachstum wird zuweilen wohl durch Mangel an Sauerstoff veranlasst, denn ich fand hin und wieder, dass es bei Erneuerung des Wassers auf die normale Höhe anstieg. Auch manche gewöhnlich nicht zu den Giften gerechnete Stoffe beeinflussen das Wachstum in ungünstiger Weise; so fand ich, dass schon ein Gehalt von 1 Tausendtheil an gewöhnlichem kohlen-saurem Ammoniak (carbaminsaurem Ammoniak) das Wachstum der Maiswurzeln sofort vollständig zum Stillstand bringt.

Uebrigens zeigten die Wurzeln auch nach Elimination der am schwächsten wachsenden eine grosse Verschiedenheit in der Stärke ihres Wachstums, die wohl nicht anders als durch „individuelle Verschiedenheit“ erklärt werden kann. Der grösste von mir gefundene stündliche Zuwachs beträgt 3,8 mm per Stunde. Es ist vielleicht nicht ohne Interesse, hier einige beobachtete Fälle besonders lebhaften Wachstums von Maiswurzeln aufzuführen. Die Zahlen haben dieselbe Bedeutung wie in der vorhergehenden Tabelle.

No.	21. April		22. April	
	11h 5 V 29,0°	3h 10 N Z 28,6°	10h 5 N Z 29,4°	8h 5 V Z 29,6°
1	20,0	28,5 2,1	50,0 3,1	80,5 3,0

1) a. a. O. 570.

No.	29. April			30. April	
	9h 32 V 28,0°	10h 30 N 28,3°	Z	8h 30 V 28,0°	Z
1	23,0	50,0	2,1	88,0	3,8

No.	1. Mai	2. Mai			
	10h 25 N 26,5°	7h 25 V 27,6°	Z	9h 28 V 27,2°	Z
1	33,0	64,0	3,4	70,0	3,0
2	30,0	59,5	3,3	65,0	2,7

Diese Zuwachsgrößen per Stunde sind übrigens wohl noch nicht die höchsten, die bei Maiswurzeln vorkommen, da die hier erwähnten in Wasser cultivirt wurden, und diese von in Erde oder Sägespäne gezogenen gewöhnlich an Raschheit des Wachstums übertroffen werden.

Die erste Versuchsreihe, die ich anstellte, hatte den Zweck, die Grösse der Turgordehnung in Maiswurzeln bei verschieden hoher Temperatur zu bestimmen. Hier soll zunächst beschrieben werden, wie bei Wurzeln, die in der Nähe des Optimums (26—29°) wuchsen, verfahren wurde. Die bei obiger Temperatur wachsenden Pflanzen wurden dabei aus dem Culturegefäss herausgenommen und ihre Wurzeln mit einem weichen baumwollenen Tuch abgetrocknet. Nun wurden mit Hilfe eines neben der Wurzel liegenden Maassstabs von der Spitze ab 4 Strecken von je 2 *mm* mit Tusche markirt. Dann kamen die Wurzeln auf 8—10 Minuten in einen dampfgesättigten Raum, d. h. in einen Glascylinder, dessen Wände und Boden mit Wasser benetzt oder (was vorzuziehen ist) mit nassem Fliesspapier belegt waren, und der dieselbe Temperatur wie das Culturegefäss besass. Dies geschah (nach SACHS' Vorgang), um die Tusche fester anhaften zu machen. Nach Ablauf dieser Zeit kamen die Wurzeln in das alte Culturegefäss zurück, in dem sie 2—3 Stunden verblieben, worauf erst die Länge der Strecken bestimmt wurde. Dies Verfahren ist nothwendig, weil durch die verschiedenen, beim Auftragen der Marken ausgeführten Operationen das Wachsthum gestört wird, so dass es in der ersten Stunde nach dem Auftragen der Marken meistens beträchtlich langsamer ist als vorher; nach 2 Stunden ist aber die Störung überwunden und das Wachsthum wieder normal.

Zum Zweck des Messens der markirten Strecken wurden die Pflanzen aus den Culturegefässen herausgenommen und in Beobachtungsgefässe mit planparallelen Wänden gebracht. Letztere waren aus einem Rahmen von Zinklech und darin eingekitteten Spiegelglasplatten gefertigt; sie waren von quadratischem Querschnitt, 24 *cm* hoch und 7 *cm* breit. Zu jedem Gefäss gehörte ein Blechdeckel, der unten mit einer Korkplatte zum Befestigen der die Samen tragenden Silbernadeln versehen war. Die Beobachtungsgefässe waren mit Wasser von der entsprechenden Temperatur gefüllt, und es wurde Sorge getragen, dass

diese während des Messens nicht erheblich sank, was nöthigenfalls durch eine in der Nähe des Gefäßes brennende Gasflamme verhindert wurde.

Die Messungen wurden mit Hilfe eines Fernrohrs ausgeführt. Beobachtungsgefäß und Fernrohr standen auf passenden hölzernen Stativen, die nach Angaben von QUINCKE angefertigt einen mit einer Glasplatte bedeckten Tisch tragen, der nach oben und unten beweglich und in jeder Lage durch eine seitliche Holzschraube festgehalten werden kann. Durch drei Schrauben können diese Stative horizontal gestellt werden. Als Fernrohr diente mir das kathetometrische Mikroskop von MÜLLER und HENSCH ebenfalls nach QUINCKE's Vorschlag construirt, das sich für Wachstumsbeobachtungen sehr geeignet erwies. Im Ocular befand sich ein ZEISS'sches Ocularmikrometer von 10 in $\frac{1}{10}$ getheilten *mm*, an dem die Zehner mit Ziffern bezeichnet sind, was das Messen wesentlich erleichtert und beschleunigt.

Zur folgenden Versuchsreihe bediente ich mich einer Vergrößerung, bei der 15 Theilstriche des Ocularmikrometers auf 1 *mm* kamen. Da man nun Fünftel eines Theilstrichs noch sehr gut schätzen kann, so kann man die Genauigkeit der Messung, soweit dabei das Ocularmikrometer allein in Betracht kommt, auf mindestens $\frac{1}{50}$ *mm* taxiren. Natürlich wurde darauf geachtet, dass das Fernrohr horizontal und der zu messende Theil der Wurzel in einer verticalen Ebene sich befand.

Die mit Tusche gemachten Theilstriche erscheinen im Fernrohr als ziemlich grobe und unregelmässig begrenzte Streifen; es ist aber nicht schwer einen charakteristischen Punkt an ihnen zu finden und bei der Messung zu Grunde zu legen. Man kann dabei das Gedächtniss durch eine kleine Skizze unterstützen.

Die Länge der ursprünglich ungefähr 2 *mm* langen Strecken war bei der Ablesung sehr verschieden, da die Wurzeln nach dem Bezeichnen noch 2–3 Stunden gewachsen waren und die Zuwachsgrößen der einzelnen Strecken für gleiche Zeiten sehr verschieden sind. Aber auch die einander entsprechenden Strecken verschiedener Wurzeln haben eine verschiedene Länge, da das Wachstum differenter Wurzeln ein verschiedenes ist, und man könnte mit Rücksicht hierauf zweifeln, ob es richtig ist die bei verschiedenen Wurzeln erhaltenen Resultate zu einer gemeinsamen Durchschnittszahl zu vereinigen. Da aber die Grösse der Turgordehnung in den aufeinander folgenden Theilen der Wurzel sich nur allmählich ändert, so halte ich den durch die ungleiche Länge derselben bei verschiedenen Wurzeln verursachten Fehler nicht für bedeutend. Der Fehler liesse sich auch ohne Schwierigkeit verringern, wenn unter den 15 Wurzeln, aus denen ich meine Durchschnittszahlen ermittelte, bei jeder Strecke die 2 oder 3 längsten und kürzesten bei der Feststellung dieser Zahlen unberücksichtigt ge-

lassen würden; ich habe mich aber überzeugt, dass dadurch das Resultat nicht wesentlich verändert wird.

Zur Aufhebung des Turgors wandte ich verschiedene Methoden an. Anfangs bewirkte ich diese, indem ich die Wurzeln durch längeres Eintauchen in heisses Wasser tödtete. Ich benutzte dabei Wasser von 75° — 80° , in dem die Wurzeln 10 Min. belassen wurden; dann wurden die darauf markirten Strecken in derselben Weise gemessen wie vor Aufhebung des Turgors. Unbequem bei dieser Methode ist, dass durch das heisse Wasser die Tuschstriche oft undeutlich gemacht werden; ferner werden die Zellen der Wurzelspitze oft stark verändert, wodurch die Messung des letzten markirten Abschnitts ungenau wird. Ueberhaupt zeigen bei den Bestimmungen der Turgordehnung nach dieser Methode die einzelnen Beobachtungen stärkere Abweichungen, der mittlere Fehler wird grösser und das Endresultat weniger zuverlässig, als das nach der nächstfolgenden Methode erhaltene. Ich habe nicht ermitteln können, woran dies liegt. Sicher ist, dass der Turgor, wenn man auf die oben angegebene Weise verfährt, vollständig aufgehoben wird, denn ich habe öfters mehrere Stunden nach Aufhebung des Turgors die Messung wiederholt und keine weitere Verkürzung wahrgenommen. DE VRIES¹⁾ erhielt bei seinen Versuchen mit Blüten- und Blattstielen ein abweichendes Resultat, wandte aber auch nur Wasser von 60° C. während 5 Min. an.

Als zweite Methode zur Aufhebung des Turgors diente das Einlegen der Wurzeln in Salzlösungen. Ich wandte eine 15-procentige Lösung von Kalisalpeter an, in der die vorher in Wasser gemessenen Wurzeln (in gewöhnlicher Weise an Nadeln befestigt) 1 Stunde und 20 Min. verblieben. Nach dieser Zeit kamen sie in das Beobachtungsgefäss, das ebenfalls mit 15-procentiger Salpeterlösung gefüllt war; die markirten Strecken wurden nochmals gemessen und die Verkürzung festgestellt. Ich habe die Salpeterlösung möglichst concentrirt genommen. Es nehmen nämlich die jüngsten Theile der Wurzeln bei längerem Aufenthalt in Salpeterlösungen wieder an Länge zu, und diese Wiederverlängerung erfolgt in schwächeren Lösungen schneller als in concentrirteren.

Ich will dies durch ein Paar Beispiele erläutern. Die Strecken werden hier, wie immer, von den älteren Theilen ab nach der Spitze zu numerirt, die Länge ist in Theilstrichen ($15 = 1\text{ mm}$) angegeben.

Strecke No.	in Wasser	in 10-procentiger Salpeterlösung		
		nach 1 Std.	nach 2 Std.	nach 5 Std.
1	38,8	34,5	34,4	34,6
2	53,8	47,2	47,2	47,2
3	44,6	37,2	37,4	38,0
4	32,3	27,6	27,1	30,3

1) DE VRIES, Unters. üb. d. mech. Ursachen d. Zellstreckung. Leipzig 1877. S. 17.

In einer Lösung von 15 pCt. erfolgt die auf die ursprüngliche Verkürzung folgende Verlängerung langsamer. Lässt man die Wurzeln mehrere Tage in dieser Lösung, so behalten sie dieselbe Länge, oder es erfolgt später eine geringe Verkürzung. Ich habe mich übrigens mit der Untersuchung dieser Verhältnisse, die mit dem Ziele meiner Arbeit in keiner näheren Beziehung stehen, nur beiläufig befasst, und führe lediglich für das Verhalten der Wurzeln in 15-procentiger Lösung ein Paar Beispiele an.

Strecke No.	Länge		Länge	
	in Wasser	in 15-procent. Salpeterlösung nach 1½ Std.	in 15-procent. Salpeterlösung nach 4½ Std.	
1	59,5	53,0	53,0	
2	71,3	63,5	63,2	
3	61,5	52,4	52,7	
4	38,7	33,2	33,9	

Strecke No.	11. Dezember			12. Dezember	
	5 h 20 N.	6 h 50 N.	9 h 44 N.	11 h 40 V.	11 h 50 V.
	in Wasser	in Wasser	in 15-procentiger Salpeterlösung	in 15-procentiger Salpeterlösung	in 15-procentiger Salpeterlösung
	Länge	Länge	Länge	Länge	Länge
3	51,7	43,5	43,8	44,7	45,0
4	36,8	30,8	32,1	35,2	35,2

Das eben dargestellte Verfahren wurde bei der Ermittlung der Turgordehnung an Wurzeln, die bei 26—29° wuchsen, angewandt. Es wurde aber ferner die Turgordehnung von Wurzeln bei sehr niedriger Temperatur ermittelt, und hierbei mussten einige Abänderungen eintreten, die ich hier kurz beschreiben will. Die zum Versuche bestimmten Wurzeln wurden, nachdem durch Beobachtung bei höherer Temperatur das normale Wachstum festgestellt war, in kaltes Wasser von 3—5°, welche Temperatur durch Umgeben des Culturefasses mit Eis erhalten wurde, eingelegt. Darauf wurden die Strecken auf den Wurzeln markirt, und zwar wurden in diesem Fall, wo kein oder geringes Wachstum stattfindet, um unmittelbar vergleichbare Resultate zu erhalten, nicht gleiche Theilstrecken aufgetragen, sondern die Durchschnittslängen der Theilstrecken, welche die beim Optimum wachsenden Wurzeln nach 2—3 Stunden erreicht hatten. Es wurden also von der Spitze ab erst 2,5, dann 3,5, 3,5 und zuletzt 2,5 mm aufgetragen. Jetzt blieben die Wurzeln noch 3 Stunden in Wasser von 3—5°, dann wurden die einzelnen Strecken abgemessen, der Turgor in der früher beschriebenen Weise aufgehoben, darauf wurde nochmals gemessen und die Verkürzung bestimmt. Bei der ersten Messung wurde Sorge getragen, dass die Temperatur im Beobachtungsgefäss nicht über 5° C. stieg.

Bevor ich die erzielten Durchschnittsresultate mittheile, wird es zweckmässig sein den Gang der Untersuchung beispielsweise an zwei Wurzeln vorzuführen.

Die eine Wurzel hatte am 11. Mai 11^h30 N. eine Länge von 33,5 mm, wuchs dann bei 27—28° bis 12. Mai 7^h36 V. auf eine Länge von 53,0 mm, also um 2,4 mm pro Stunde, bis 9^h20 V. desselben Tages auf 57,5 mm, also ebenfalls um 2,4 mm pro Stunde. Um 9^h24 wurden 4 Strecken von 2 mm von der Spitze ab aufgetragen. Die Wurzel blieb bis 9^h35 im dampfgesättigten Raum, kam dann in das Culturgefäß mit Wasser von 27,6° zurück, wurde von 11^h48—11^h54 im Beobachtungsgefäß mit dem Fernrohr gemessen, dann in 15-procentige Salpeterlösung gebracht, worin sie bis 1^h10 verblieb; dann wurden von 1^h10 bis 1^h20 die bezeichneten Strecken nochmals gemessen. Die Resultate der Messung waren die folgenden, die Strecken sind hier wie überall von den älteren Theilen nach der Spitze der Wurzel hin numerirt. Die Längenzahlen sind in Theilstrichen (15 = 1 mm) angegeben.

Strecke No.	Länge 11 ^h 48 V.	Länge 1 ^h 10 N.	Ver- kürzung	pCt. der urspr. Länge
1	38,8	35,3	3,5	9,0
2	55,6	49,3	6,3	11,5
3	54,2	45,8	8,4	15,5
4	38,0	31,3	6,7	17,5

Die Summe der Länge sämtlicher Strecken beträgt 186,6 Th. Zieht man 8 mm = 120 Theilstriche davon ab, so bleiben 66,6 Th.; um so viel ist die Wurzel während der 2,2 Stunden nach der Bezeichnung gewachsen. Dies ergibt einen stündlichen Zuwachs von 30,0 Th. oder 2,0 mm.

Eine andere Maiswurzel hatte am 27. Mai 11^h42 N. die Länge von 20,0 mm, am 28. Mai 6^h42 V. die von 38,5 mm, war also in der Stunde um 2,6 mm gewachsen; bis 9^h12 V. erreichte sie eine Länge von 45,5 mm. Dies giebt 2,8 mm Zuwachs in der Stunde, alles bei einer Temperatur von 27,4 — 28° C. Die Pflanzen kamen nun in Wasser von 2 — 3° C.; von 9^h48 — 9^h58 wurden Strecken von je 2,5, 3,5, 3,5, 2,5 mm markirt. Die Wurzeln blieben bis 1^h45 N. in Wasser von 2—3° C. Nun wurden die bezeichneten Strecken mit dem Fernrohr gemessen, dann der Turgor durch Einbringen in eine 15-procentige Salpeterlösung aufgehoben und um 3^h10 N. nochmals gemessen. Das Ergebniss war folgendes:

Strecke No.	Länge 1 ^h 45 N.	Länge 3 ^h 10 N.	Ver- kürzung	pCt. der urspr. Länge
1	40,5	37,0	3,5	8,5
2	49,0	43,1	5,9	12,0
3	54,1	47,3	6,8	12,5
4	37,0	31,5	5,5	15,0

Ich gebe nun die durchschnittlichen Resultate von vier Versuchsreihen, deren jede 15 Wurzeln umfasst. Die Zahlen, die in der nächsten Tabelle mitgetheilt werden, geben die durchschnittlichen Ver-

kürzungen in pCt. der ursprünglichen Länge an und wurden erhalten, indem die procentischen Verkürzungen für jede entsprechende Strecke der 15 Wurzeln addirt wurden und daraus das Mittel gezogen wurde. Bei I und II wurde die Turgoraufhebung durch Eintauchen in heisses Wasser, bei III und IV durch Einbringen in 15-procentige Salpeterlösung bewirkt.

I und III sind die Durchschnittszahlen von Wurzeln, die sich während der Messung in Wasser von 26–29° befanden, II und IV von solchen, die bei einer Temperatur von 3–6° gemessen wurden.

	Strecke . . .	Procentische Verkürzung			
		1	2	3	4
I (26–29° H.W.)		8,3	10,2	13,6	20,5
II (3–6° H.W.)		7,2	9,2	11,9	14,7
III (26–29° Salp.)		9,2	11,6	15,5	16,4
IV (5–6° Salp.)		8,3	11,4	14,0	16,9

Die folgende Tabelle giebt die durchschnittlichen Längen der einzelnen Strecken in Theilstrichen an

Strecke . . .	1	2	3	4
I	38,3	52,9	56,4	35,0
II	36,5	51,8	53,1	37,1
III	40,5	55,5	55,0	35,9
IV	37,0	51,1	54,2	36,4

Wenn man die Durchschnittszahlen für die procentische Verkürzung mehr ins Auge fasst, so bemerkt man, dass die durch Tödtung in heissem Wasser erhaltenen mit denen, die beim Einbringen der Wurzeln in Salpetersäure sich ergeben haben, ziemlich gut übereinstimmen, etwa mit Ausnahme der Strecke 4, deren Länge aus früher erwähnten Gründen weniger genau zu ermitteln war als die der übrigen. Dagegen stimmen die bei den einzelnen Wurzeln erhaltenen Zahlen bei der ersten Methode weniger gut überein als bei der zweiten. Ich habe für die Strecke 3 aus den jeweiligen 15 einzelnen Resultaten den mittleren Fehler berechnet; dieser beträgt für I 3 1,1 pCt., für II 3 0,4, für IV 3 0,3.

Vergleichen wir nun die Zahlen für procentische Verkürzung bei Wurzeln, die in verschiedener Temperatur cultivirt wurden, so ergeben sich im Allgemeinen keine bedeutenden Verschiedenheiten. Nur die Strecke 3 zeigt einen nicht unerheblichen Unterschied, indem die Verkürzung bei den in der Nähe des Optimums cultivirten Wurzeln um 1,5 pCt. grösser ist als bei denen, die in niederer Temperatur gehalten wurden; der Unterschied ist also merklich grösser als der oben angeführte mittlere Fehler dieser Strecke, die den Theil der Wurzel von etwa 2,5 mm bis zu 6 mm von der Wurzelspitze umfasst, enthält aber zugleich die Zone des stärksten Wachstums und darf deshalb eine besondere Wichtigkeit beanspruchen. Allerdings finden wir auch in der Zone 1, die nur noch ein sehr geringes Wachstum zeigt, eine

um 0,9 pCt. stärkere Verkürzung bei der höheren als bei der niederen Temperatur. Dagegen kommt noch in Betracht, dass bei den bei höherer Temperatur gemessenen Wurzeln die Verkürzung nothwendigerweise zu gering gefunden werden muss. Zwischen dem Zeitpunkt, in dem die Wurzel gemessen wird, und dem der Aufhebung des Turgors verfließt einige Zeit, während welcher die Wurzel wächst; es ist also in Wirklichkeit die Länge der Strecken grösser als sie bei der Berechnung der Verkürzung angenommen wird, und demnach muss die gefundene procentische Verkürzung sich als geringer ergeben, als sie in Wirklichkeit ist.

Aus den eben erwähnten Ursachen erschien es mir zweckmässig eine weitere Reihe von Versuchen über die Grösse der Turgordehnung bei verschiedenen Temperaturen anzustellen. Ich beschränkte mich dabei auf die letzten 2 Strecken, die bei diesem Versuch zusammen eine Länge von etwa 5,5 mm ausmachten. Um den zuletzt besprochenen Fehler zu vermeiden, wurde zuerst die Länge der nur schwach wachsenden, an der Spitze der Wurzel liegenden Strecke 4 bestimmt, dann die der Strecke 3, so dass unmittelbar nach der Messung der letzteren der Turgor durch Einbringen in 15-procentige Salpeterlösung aufgehoben werden konnte. Ferner traf ich die Abänderung, dass ich keine so niederen Temperaturen anwandte, wie bei den früheren Versuchen, vielmehr die Wurzeln, welche zur Bestimmung der Turgordehnung bei niederer Temperatur keimen sollten, mehrere Stunden in Wasser von der Temperatur von 9—10° verweilen liess.

Hierzu wurde ich durch eine später näher zu beschreibende Beobachtung bewogen. Ich fand nämlich, dass Wurzeln, die einige Zeit bei einer dem Wachstumsminimum nahen Temperatur gehalten wurden, eine Veränderung erleiden, die sich darin ausspricht, dass sie in eine günstige Temperatur gebracht, zunächst nicht das dieser entsprechende normale Wachsthum zeigen, sondern beträchtlich langsamer wachsen. Solche Wurzeln können daher nicht als ganz normale bezeichnet werden. Da es mir nun vorzüglich darauf ankam die Grösse der Turgordehnung unter normalen Verhältnissen zu bestimmen, so hielt ich es zweckmässiger bei den Untersuchungen über dies Verhalten der Wurzeln in niederen Temperaturen nicht weiter herabzugehen als 9—10°, bei welcher Temperatur die oben angeführte Veränderung noch nicht eintritt. Der Unterschied im Wachsthum der Maiswurzeln bei 26—29° und 9—10° ist ein sehr beträchtlicher, da in letzterem Falle das Maximum des stündlichen Zuwachses etwa 0,4 mm pro Stunde beträgt.

Abgesehen von den eben erwähnten Aenderungen wurde bei den folgenden Versuchen ebenso wie früher gearbeitet und die Turgoraufhebung durch Einbringen in 15-procentige Salpeterlösung bewirkt; die mitgetheilten Zahlen sind Durchschnittszahlen aus je 15 Wurzeln.

Die Bezeichnungsweise ist dieselbe wie bei der ersten Tabelle auf Seite 69.

	Procentische Verkürzung	
	Strecke . . 3	4
I (25—27°)	16,0	16,4
II (9—10°)	16,2	16,3

	Durchschn. Länge in Theilstrichen	
	Strecke . . 3	4
I	52,3	34,8
II	49,2	3,33

Der mittlere Fehler beträgt für die beiden Strecken in der ersten Reihe 0,3 pCt., in der zweiten 0,5 pCt.

Nach diesen Versuchen hat die Verkürzung, die bei Aufhebung des Turgors stattfindet, bei den Maiswurzeln den gleichen Werth, mag sie nun bei Temperaturen erfolgen, die ein lebhaftes Wachstum der Wurzeln veranlassen, oder bei solchen, wo die Wurzeln nicht oder nur unbedeutend in die Länge wachsen. Man kann daraus allerdings nicht unmittelbar schliessen, dass der Turgor in beiden Fällen derselbe ist. Es wäre ja möglich, wiewohl nicht gerade wahrscheinlich, dass eine etwaige Aenderung des Turgors durch eine gleichzeitige Aenderung in der Dehnbarkeit der Zellhäute verdeckt würde. Darum wäre es von Wichtigkeit die Grösse des Turgors und die Dehnbarkeit der Zellhäute in wachsenden Wurzeln direkt zu bestimmen. Da die Grösse des Turgors kaum anders bestimmt werden könnte als durch Zerschneiden der Wurzeln, wobei das Wachstum wohl schon vorher sistirt würde, so habe ich davon abgesehen. Auch die Versuche, die ich zur Ermittlung der Dehnbarkeit lebender Wurzeln anstellte, gelangen nicht. Es ist sehr schwer an der glatten Wurzelspitze ein Gewicht zu befestigen, und wenn dies glückt, so bricht die Wurzelspitze in Folge ihrer eigenthümlichen Sprödigkeit sehr leicht ab. Doch werden andere Objekte sich wohl als brauchbar für solche Untersuchungen zeigen.

II.

Die Untersuchungen über die ich im zweiten Theile dieses Aufsatzes zu berichten habe, beziehen sich auf die Bedeutung gewisser Temperaturschwankungen für das Wachstum. Im Verlauf dieser Untersuchungen erschien es erwünscht die Wirkung solcher Schwankungen in möglichst kurzer Frist zu erkennen, und so wurde ich darauf geführt die Methoden für Beobachtung des Wachstums in kurzen Zeiträumen auf deren Brauchbarkeit für den beabsichtigten Zweck zu prüfen.

Vor längerer Zeit hat KÖPPEN¹⁾ nachzuweisen gesucht, dass

1) KÖPPEN, Wärme- und Pflanzenwachstum. Bullet. de la soc. imp. des nat. de Moscou. 1870.

Temperaturschwankungen einen direkt schädigenden Einfluss auf das Wachstum ausüben. Im Jahre 1874 ist dann PEDERSEN¹⁾ KÖPPEN entgegengetreten und hat, auf zahlreiche Versuche gestützt, den Satz begründet²⁾, dass der Zuwachs, welchen eine Wurzel bei plötzlichem Wechsel zwischen verschiedenen nützlichen constanten Temperaturen erreicht, nicht kleiner, sondern grösser ist als der Zuwachs, welchen sie in gleicher Zeit bei der entsprechenden constanten Mitteltemperatur erreicht. PEDERSEN's Versuche beschränkten sich auf die nützlichen, d. h. über dem Minimum liegenden Temperaturen, ja die niedrigste Temperatur, bei der er Versuche anstellte (12,5° C.), liegt wahrscheinlich ziemlich hoch über der niedrigsten Temperatur, bei der noch seine Versuchspflanzen (*Vicia faba*) ein Wachstum der Wurzeln zeigen. In Folge meiner Versuche über die Turgordehnung bei verschieden hoher Temperatur wurde ich aber gerade darauf hingewiesen, das Verhalten der Wurzeln in der Nähe des Minimum zu untersuchen. Die folgenden Tabellen enthalten einige Versuche über Wachsen von Maiswurzeln bei niederen Temperaturen. Sie wurden im ungeheizten Zimmer angestellt, die Culturgeschlässe waren dabei theils von Watte umhüllt, theils in grössere Wassergefässe gestellt, so dass auch in den zwischen den Beobachtungszeiten liegenden Zeiträumen die Temperatur ziemlich constant blieb. Die Längen, die bei der erst beobachteten Wurzel angegeben sind, beziehen sich auf die Gesamtlänge derselben, bei den anderen wurde von einer Tuschmarke ab gemessen. Das Verbringen der Maispflanzen in höhere oder niedere Temperatur fand immer so statt, dass sie aus dem einen Culturgefäss unmittelbar in das andere von verschiedener Temperatur versetzt wurden.

		Länge der Wurzel in mm											
		14. Dez.				15. Dezember				16. Dezember			
No.	10 N.	10h 5 V. Z.		12h 5 V. Z.		11h 7 N. Z.		10h 5 V. Z.		10h 5 N. Z.			
	26,5°	26,5°		26,2°		9,6°		9,5°		9,3			
1	35,0	61,2	2,2	65,2	2,0	68,2	0,3	69,5	0,1	71,0	0,1		
		12h 5 in 10°											
		17. Dezember				18. Dezember							
No.		10h V. Z.		9h 57 N. Z.		10h 12 V. Z.		9h 20 N. Z.					
		9,0°		9,6°		27,0°		27,0°					
1		72,0	0,1	73,5	0,1	95,0	1,8	112,8	1,6				
		10h 15 in 26,6°											
		17. Dezember		18. Dezember				19. Dezember		20. Dez.			
No.	1h N.	10h 4 N. Z.		9h 8 V. Z.		9h 10 N. Z.		9h 12 V. Z.		11h 10 N. Z.		10h 15 V. Z.	
	25,2°	26,4°		8°		8°		7,6°		7,8°		7,4°	
1	12,7	31,5	2,1	33,2	0,2	33,7	0,04	34,5	0,07	35,2	0,05	35,4	0,05
2	13,2	31,8	2,1	33,2	0,1	33,2	0,0	34,0	0,07	35,0	0,07	35,3	0,03
		10h 10 in 9°											

1) PEDERSEN, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. I, 563—583.

2) a. a. O. S. 571.

		17. Dezember		18. Dezember				19. Dezember						
		7h 6 N.	11h 5 N.	10h 8 V. Z.	9h 15 N. Z.	9h 10 V. Z.	10h 14 N. Z.	9h 10 V. Z.	10h 14 N. Z.	9h 10 V. Z.	10h 14 N. Z.			
No.		26°	26,4°	8,4°	8,6°	8,2°	8,4°	8,2°	8,4°	8,2°	8,4°			
1		22,5	29,0	30,7	0,2	31,3	0,05	32,0	0,06	32,7	0,05			
2		17,2	25,0	27,0	0,2	28,0	0,09	28,5	0,04	29,5	0,07			
		11h 10 in 10°												
		20. Dezember				21. Dezember								
		10h 14 V. Z.				11h 12 V. Z.								
No.		8,0°				8,0°								
1		33,2				34,2								
2		30,2				31,5								
		17. Dez.	18. Dezember		19. Dezember		20. Dez.	21. Dez.						
		11h N.	10h V. Z.	9h 3 N. Z.	9h V. Z.	11h 6 N. Z.	10,9h V. Z.	10h 14 V. Z.						
No.		26,6°	27,2°	8,6°	7°	5°	5°	5,8°						
1		10,5	22,5	1,0	23,5	0,09	24,5	0,08	25,2	0,05	25,5	0,03	26,2	0,05
2		12,0	40,7	2,6	41,8	0,1	42,2	0,03	43,0	0,06	43,2	0,02	43,5	0,02
3		12,0	37,2	2,3	38,5	0,1	39,5	0,08	40,5	0,07	40,7	0,02	41,0	0,02
		10h 8 in 9°												

Da bei diesen Versuchen auf das Wetter Rücksicht genommen werden musste, konnten sie leider nicht genügend lange fortgesetzt werden. Sie gestatten immerhin einige nicht unwichtige Schlussfolgerungen. Aus der vierten Tabelle ergibt sich, dass noch bei 5° C. ein, wenn auch sehr geringes Wachstum, stattfindet. Ferner bemerkt man in sämtlichen Versuchen, dass in den ersten 12 Stunden die aus wärmerer Temperatur in kältere gebrachten Wurzeln ein stärkeres Wachstum zeigten als später. Andererseits geben sie durchaus keinen Anhalt dafür, dass bei niederer Temperatur ein constantes Fallen der Zuwachsgrößen stattfindet, wie dies KIRCHNER¹⁾ für den Mais (und einige andere Pflanzen) angiebt. KIRCHNER'S Versuche erstreckten sich freilich über längere Zeiträume, mir scheint es aber als wahrscheinlich, dass die von ihm zum Theil, insbesondere auch bei *Zea Mais* angewandte Cultur-Methode von Pflanzen auf feuchtem Fliesspapier auf die Dauer einen ungünstigen Einfluss auf die Versuchspflanzen ausüben musste. Aus der ersten Tabelle ergibt sich noch, dass auch ein längeres Verweilen bei einer Temperatur von 9—10° keinen dauernd schädigenden Einfluss auf das Wachstum von Maiswurzeln ausübt, da diese nachher in 27° gebracht eine normale Zuwachsgrösse aufwiesen.

Ich habe die oben angeführten Beobachtungen, die noch in vielfacher Hinsicht zu erweitern und zu vervollkommen sind, bisher nicht fortgesetzt. Dagegen habe ich die Wirkung, welche eine kurzdauernde Versetzung einer wachsenden Wurzel in eine niedere Temperatur auf das nachfolgende Wachstum bei höherer Temperatur ausübt, eingehend und nach verschiedenen Methoden untersucht. Eine Anzahl Wurzeln

1) KIRCHNER, Ueber das Längenwachstum von Pflanzenorganen bei niederen Temperaturen, in COHN, Beitr. zur Biol. d. Pfl. II. 353.

wurden mit einer Marke versehen und das Längenwachstum erst bei höherer Temperatur ermittelt, dann blieben die Wurzeln 2 Stunden bei niederer Temperatur, und darauf wurde wieder ihr Wachstum bei einer der ursprünglichen nahekommenden, höheren Temperatur ermittelt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Resultate in abgekürzter Form mitgeteilt, indem lediglich die unmittelbar für die hier erörterte Frage wichtigen Daten mitgeteilt werden, nämlich Temperatur, Dauer der Beobachtung und auf 1 Stunde berechnetes Wachstum. Es ist hierbei zu beachten, dass die einzelnen Beobachtungen unmittelbar aufeinander folgten.

	Temperatur Grad	Dauer Stunden	Stündl. Zuwachs mm
1.	28,3—29,0	3	2,0
	10,2—10,4	2	0,2
	29,0—29,4	2,5	1,9
5			2,1
2.	27,6—28,3	3	2,2
			2
	10,5—11,2	2	0,4
	27,6—28,0	3	2,5
3.	28,8	5	1,9
	10,2—10,8	2	0,2
			29,0
4.	28,8—29,2	3	1,9
	6,2—6,8	2	0,2
	29,0—29,8	2,5	1,4
5			2,1
5.	29,0 (2 Wurz.)	3	a 1,8
			b 2,3
	3,2—3,8	2	a 0,0
			b 0,0
29,0	2,5	a 0,9	
		b 1,1	
29,0—29,6	3,7	a 2,0	
		b 2,0	
6.	28,0	5	2,0
	1,5—0,8	2	0,0
	28,8—29,0	2,5	0,7
	29,0—29,6	2,5	1,2
	29,6—29,4	9	1,8

Nur einen Versuch will ich hier ausführlich mittheilen, da er zugleich ein weiteres Beispiel für den flachen Verlauf der Curve der „grossen Periode“ bei manchen Wurzeln ergibt. Die Zahlen geben die gesammte Länge der Wurzel in Millimetern. Z = stündlicher Zuwachs.

No.	18. Dezember	
	1h 4 N. 25,8°	7h 2 N. Z. 26,8°
1	41,7	57,0 2,5

Um 7^h 3 N. kam diese Wurzel in Wasser von 4°. Die Temperatur sank bis 9^h N. auf 0°, so dass im Culturegefäss sich Eis bildete. Um 9^h N. kam die Wurzel wieder in Wasser von 26,8°. Der weitere Verlauf des Wachstums war der folgende:

18. Dez.	19. Dezember			20. Dezember	
9 ^h N.	12 ^h 24 V. Z.	9 ^h 12 V. Z.	11 ^h 18 N. Z.	10 ^h 32 V. Z.	7 ^h 44 N. Z.
26,8°	27,2°	27,6°	27,0°	27,6°	26,8°
57,0	61,7 1,4	86,2 2,7	125,5 2,8	150,0 2,2	167,0 1,8

Am 20. Dezember 19^h 32 V. zeigten sich die ersten Nebenwurzeln. Aus der mitgetheilten Tabelle geht hervor, dass, wenn eine anfangs bei 27—29° cultivirte Wurzel während 2 Stunden auf einer Temperatur von 10—11° gehalten wird und dann wieder in die frühere Temperatur von 27—29° zurückgebracht wird, sie ihre frühere Zuwachsgrösse sofort oder doch binnen sehr kurzer Zeit wieder erreicht. Lässt man aber während der genannten 2 Stunden die Temperatur tiefer hinabsinken (auf 1—7°), so zeigt die Wurzel beim Wiederversetzen in 27—29° in den ersten 2—3 Stunden ein schwächeres Wachstum, das bis auf die Hälfte oder einen noch geringeren Bruchtheil des früheren herabgehen kann. Je niedriger diese intercalare Temperatur ist, desto grösser ist die darauf folgende Herabsetzung des Wachstums bei der höheren Temperatur, und desto langsamer wird die der letzteren entsprechende Zuwachsgrösse wiederhergestellt. Während bei 1—5° das Wachstum schon nach 2—3 Stunden wieder normal wird, erfolgt dies bei 0° erst nach 5 Stunden.

Ich wende mich nun zu den Versuchen, die mit Hilfe des kathetometrischen Fernrohrs durchgeführt wurden. Die Wurzeln wurden dazu in die früher erwähnten parallelwandigen Gefässe gebracht. Da die Zeit dieser Versuche in die Sommermonate fiel und sie in einem dunklen Zimmer bei ziemlich constanter Temperatur angestellt wurden, so war eine künstliche Erwärmung des Beobachtungsgefässes unnöthig. Sollte eine Messung erfolgen, so gab eine hinter oder vor dem Beobachtungsgefäss brennende Gasflamme das nöthige Licht.

Die Beobachtungen fanden nach zwei Methoden statt, indem entweder das Fortrücken der Wurzelspitze am Ocularmikrometer direct beobachtet oder die Länge des wachsenden Theils durch Messung mit dem Mikrometer in gleichen Zeitabschnitten bestimmt wurde.

Der erste Weg der Beobachtung ist schon vielfach angewandt worden, bei Wurzeln allerdings bisher meines Wissens nur von F. DARWIN¹⁾ in seinem Aufsatz über das Wachstum negativ heliotropischer Wurzeln im Licht und im Finstern. Indessen giebt die Arbeit F. DARWIN's keinen Aufschluss über die Genauigkeit der Methode; es ist nicht zu erkennen, ob die Ungleichheiten, die sich in dem

1) Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. II. 521.

Wachsthum der von ihm untersuchten Wurzeln zeigen, auf Mängel der Beobachtungsmethode oder auf wirkliche Ungleichheiten des Wachstums zurückzuführen sind. Das Haupthinderniss der genauen Beobachtung, die spontanen Nutationen der Wurzeln, erwähnt er nur ganz beiläufig,¹⁾ so dass ich aus seiner Arbeit nicht ersehen kann, ob die von ihm untersuchten Wurzeln von *Sinapis alba* diese Nutationen in stärkerem oder schwächerem Grade zeigen als die von mir benutzten Maiswurzeln.

Damit die Bestimmung des Längenwachstums durch die Beobachtung des Fortrückens der Spitze am Ocularmikrometer genau ausfällt, ist es nothwendig, dass die Wurzelspitze (bei horizontaler Lage des Fernrohrs) parallel der Glaswand des Beobachtungsgefässes wächst. Dagegen ist es nicht nothwendig, dass sie gerade in der Verticallinie abwärts wächst; sie kann vielmehr zu dieser mehr oder weniger geneigt sein; durch Drehung des Fernrohrs, wozu an diesem eine Handhabe angebracht ist, kann man das Ocularmikrometer immer rechtwinklig zum Bilde der Wurzel stellen. Wichtig ist es, die Spitze der Wurzel möglichst scharf und gleichartig einzustellen, wobei eine passende Beleuchtung sehr nützlich ist. Durch das fortdauernde Abquellen der Zellen der Wurzelhaube wird die Gestalt der Wurzelspitze während der Beobachtung verändert, doch ist es, wenn in kürzeren Fristen beobachtet wird, nicht schwer, einen bestimmten Punkt der Spitze im Auge zu behalten, und bei längeren Zeiträumen fällt der Fehler nicht in's Gewicht. Er lässt sich auch ganz vermeiden, wenn man 1—2 mm oberhalb der Spitze eine Marke aufträgt und ihr Fortrücken statt des der Spitze selbst beobachtet. Die grösste Schwierigkeit für die Beobachtung liegt, wie erwähnt, in der Nutation der Spitze (Circumnutation CHARLES DARWIN's). Sie kommt bei fast allen Maiswurzeln vor, freilich in sehr verschiedener Stärke. Bei einer Wurzel, die in starkem Maasse nutirt, ist es unmöglich, das Längenwachsthum nach der eben besprochenen Methode zu beobachten. Bei schwächer nutirenden Wurzeln lässt sich der Weg der Wurzelspitze verfolgen, indem man bei jeder Beobachtung das Ocularmikrometer wieder auf die Wurzelspitze einstellt. So werden die seitlichen Krümmungen theilweise neutralisirt, die in die Gesichtslinie fallenden natürlich nicht. Beide tragen dazu bei, dass das Längenwachsthum schwächer erscheint, als es in Wirklichkeit ist. Auf die Circumnutation sind die oft recht grossen Unregelmässigkeiten im Betrage der Zuwachsgrössen, die sich bei der mikrometrischen Messung des Weges der Wurzelspitze ergeben, zurückzuführen. Nach zahlreichen Beobachtungen, die hier anzuführen unmöglich ist, bin ich zu der Ansicht gelangt, dass das Wachsthum selbst bei gleich bleibenden äusseren Bedingungen sehr gleichmässig erfolgt,

1) a. a. O. S. 324, Anm.

und dass die „stossweisen“ Aenderungen des Wachstums wenigstens bei den von mir untersuchten Wurzeln keine irgendwie erhebliche Grösse erreichen. Im Allgemeinen finde ich, dass je lebhafter das Längenwachstum einer Wurzel ist, um so schwächer die spontanen Nutationen werden; sehr starke Nutationen können als ein Zeichen nicht ganz normalen Wachstums betrachtet werden. Ferner nehmen die Nutationen mit dem Alter oder genauer mit der Länge der Wurzel ab, Wurzeln von 80—80 *mm* Länge zeigen sie in viel schwächerem Maasse als solche von 30—40 *mm*.

Im Nachfolgenden gebe ich die Beobachtungsergebnisse einer (relativ) sehr gleichmässig wachsenden Wurzel, deren Wachstum am 12. Juni während 12 Stunden mit dem Fernrohr verfolgt wurde. Die Beobachtungen fanden meist alle halben Stunden statt, zeitweise aber auch in kürzeren und längeren Fristen. Die Zahlen der ersten Columnne beziehen sich auf die Theilstriche des Mikrometers, von denen bei diesem Versuch 21,7 einem Millimeter entsprechen, also 1 Theilstrich ungefähr $\frac{1}{31}$ *mm*. Die fetten Zahlen bedeuten, dass nach der Ablesung eine neue Einstellung des Mikrometers erfolgte. Zur besseren Vergleichung wurden alle Zuwachsgrößen auf 1 Stunde reducirt und in Theilstrichen aufgeführt. Beim Beginn des Versuchs war die Wurzel 47,5 *mm* lang.

Zeit	Mikrometer	Zuwachs auf 1 Stunde <i>mm</i>	Temp. Grad
9h V.	68,5		21,2
9 30	51,5	34,0	21,3
10	38,0	27,0	21,3
10 2	82,5		
10 27	70,0	30,0	21,6
10 30	67,2		
11	52,5	29,5	21,7
11 3	75,0		
11 33	57,0	36,0	21,7
11 35	71,5		
12 5 N.	54,0	35,0	21,8
12 8	67,5		
12 38	48,5	38,0	21,9
12 40	67,0		
1 10	51,5	31,0	21,9
1 45	32,0	33,5	22,0
1 47	80,0		
2 17	63,0	34,0	22,0
2 20	61,2		
2 51	45,5	31,5	22,0
3 30	68,0		22,4
4	49,0	38,0	22,4
4 35	31,0	31,0	
4 37	70,0		22,6
6 7	23,0	31,5	22,4

Zeit	Mikrometer	Zuwachs auf 1 Stunde <i>mm</i>	Temp. Grad	Bem.
6 ^h 10 N.	72,0			
7 25	26,0	37,0	22,4	
7 30	67,5			
8	51,7	31,6	22,2	
8 30	37,0	29,4	22,3	
9 2	20,0	32,0		
9 5	72,0		22,4	
9 32	59,0	29,0	22,5	Wasser ern.
9 41	74,0		21,8	
11 21	11,0	38,0	22,2	

Wenn man die Zuwachsgrößen für etwas längere Zeiträume ermittelt, so ergibt sich eine etwas grössere Gleichmässigkeit, die folgenden Zahlen geben den stündlichen Zuwachs für die Zeit von 9^h bis 4^h und den durchschnittlichen in $1\frac{1}{2}$ —2 Stunden für die Zeit von 4^h bis 11^h 21 an: 30,5, 29,7, 35,5, 34,5, 33,7, 34,7, 31,2, 34,3, 30,1 38,0.

Ich könnte noch mehr Beispiele relativ gleichmässigen Wachstums, neben anderen, wo dieses sehr ungleichmässig war, mittheilen. Als Hauptergebniss meiner Versuche ergibt sich der Satz, dass man bei Anwendung der hier besprochenen Methode brauchbare Resultate erhalten kann, dass aber die Anzahl der Versuche ziemlich gross sein muss, damit man nicht durch unvermeidliche Fehler irre geführt wird.

Ich komme nun zu den Versuchen, die ich nach der eben angeführten Methode über die Folgen einer kurzen Unterbrechung des Wachstums durch Verweilen in niederer Temperatur angestellt habe.

Eine Wurzel von 75 *mm* Länge wurde am 12. Juli Morgens zum Versuch bestimmt. Sie hatte in den zweimal 12 vorhergehenden Stunden bei 25,2—25,6° einen stündlichen Zuwachs erst von 1,8, dann von 2,3 *mm* gezeigt. Am Morgen des Versuchstages war indessen das Wachstum aus unbekanntem Gründen beträchtlich schwächer geworden.

Die folgende Tabelle ist ebenso angefertigt wie die vorhergehende, nur war das Ocularmikrometer in umgekehrter Lage, so dass jetzt die jeweils folgende Zahl die höhere ist. 1 *mm* = 21,7 Theilstriche.

Zeit	Mikrometer	Zuwachs auf 1 Stunde <i>mm</i>	Temp. Grad
12 ^h 18 N.	19,5		26,6
1 24	52,0	32,5	26,7
1 26	50,7		
2 16	79,5	34,5	26,8
2 18	26,8		
2 50	47,0	37,9	
2 50	44,0		
3 30	67,0	34,5	
3 30	25,0		
3 46	33,8	33,0	26,8
3 48	33,6		
4 3	42,5	53,6	
4 5	47,5		
4 15	53,0	33,0	26,8

Um 4^h 21 wurde die Wurzel aus dem bisherigen Beobachtungsgefäß genommen und kam in ein anderes, das Wasser von 5° C. enthielt. Hier blieb sie 10 Minuten, nach deren Verlauf die Temperatur, trotz der Anwendung von Eis, auf 6,5° gestiegen war. Um 4^h 31 kam die Wurzel wieder in das alte Gefäß mit der Temperatur 26,8° zurück. Das Wachstum während und nach der Abkühlung zeigt die folgende Tabelle:

Zeit	Mikrometer	Zuwachs auf 1 Stunde <i>mm</i>	Temp. Grad
4 ^h 21 N.	42,0		5,0
4 26	42,0	0,0	
4 26	40,7		
4 31	40,7	0,0	6,5
4 34	27,5		26,8
4 40	28,5	10,0	
4 40	30,0		
4 50	31,0	6,0	
5 2	34,8	19,0	
5 2	33,0		
5 10	35,4	18,0	
5 12	32,0		
5 20	34,3	17,0	
5 30	36,7	14,5	
5 31	40,8		
5 40	44,1	22,0	
5 40	47,3		
5 50	51,0	22,2	
5 50	49,0		
6 2	53,0	20,0	26,7

Die Länge der ganzen Wurzel betrug um 6^h 16 91,5 *mm*, um 11^h 28 bei 26,6° 100 *mm*; dies ergibt ein Wachstum von 1,7 *mm* per Stunde oder fast 37,0 Theilstrichen.

Ich will aus mehreren Versuchen noch einen mit einer Wurzel mittheilen, die sich durch starkes Wachstum auszeichnete. Der gesammte Verlauf des Wachstums bei dieser Wurzel war folgender. Die erste Zahl ist die Gesammtlänge, die zweite der stündliche Zuwachs.

13. Juli		14. Juli		15. Juli	
6 ^h 8 N.	11 ^h 8 N. Z.	7 ^h 8 V. Z.	7 ^h 7 N. Z.	7 ^h 8 V. Z.	9 ^h 10 N. Z.
26,3°	25,90°	24,1°	24,1°	22,6°	23,6°
28,0	37,5 1,9	56,0 2,4	78,0 1,8	103,0 2,1	129,5 1,9

Am 14. Juli 9^h 5 Beginn der Beobachtung mit dem Fernrohr. (Bezeichnung wie früher, 1 *mm* = 21,7 Th.)

Zeit	Mikrometer	Zuwachs auf 1 Stunde red. <i>mm</i>	Temp. Grad
9 ^h 5 V.	44,7		
9 15	52,5	46,8	24,8
9 15	52,3		

Zeit	Mikrometer	Zuwachs auf 1 Stunde red. <i>mm</i>	Temp. Grad
9h 30 V.	65,8	54,0	
9 32	67,0		
9 40	73,8	58,5	
9 41	36,2		
9 53	47,5	56,5	
9 53	47,8		
10	53,7	50,5	
10 2	57,2		
10 12	66,0	52,8	
10 22	73,8	46,8	
10 32	82,0	49,2	
10 33	24,2		
10 45	34,7	52,5	
10 46	33,5		24,7
10 59	46,7	61,0	
11	48,3		24,7
11 15	62,5	56,8	
11 15	63,0		24,7
11 29	74,3	48,5	
11 30	30,4		
11 35	34,5	49,2	24,8
11 45	41,7		
11 54	49,2	56,6	
11 55	49,0		
12 5	56,0	42,0	
12 6	57,0		
12 16	65,2	49,2	
12 26	73,5	49,8	24,7

Nunmehr kamen die Wurzeln in Wasser von 6°, worin sie 10 Minuten blieben. Die Temperatur stieg während dem auf 9°; darauf wurden sie wieder in das alte Beobachtungsgefäß mit der Temperatur von 24,5° zurückgebracht.

Zeit	Mikrometer	Zuwachs auf 1 Stunde red. <i>mm</i>	Temp. Grad
12h 31 N.	45,5		6
12 41	45,4	0,0	
12 42,5	44,5		24,5
12 44,5	45,2	21,0	
12 47,0	47,7	60,0	
12 50,0	48,8	22,0	
12 55,0	50,8	24,0	
12 55	50,2		
1	52,0	21,6	
1 10	56,2	25,2	
1 10	56,0		
1 20	62,7	40,2	
1 38	73,0	34,3	
1 40	36,6		

Zeit	Mikrometer	Zuwachs auf 1 Stunde red. <i>mm</i>	Temp. Grad
2 ^h 10 N.	51,0	30,0	24,2
2 30	60,0	27,0	
2 31	36,0		
3 1	49,0	26,0	

Die Gesamtlänge der Wurzel war um 3^h 2 N. 71,0 *mm* bei 24,2°, um 7^h 2 N. 78,0 *mm* bei 23,8°. Der Zuwachs betrug also für vier Stunden 7 *mm* oder 1,76 *mm* = 38,0 Th. für die Stunde. Der stündliche Zuwachs für die nächsten 12 Stunden bei einer Temperatur von 23,8—22,6° war 2,1 *mm*, also ganz normal.

Es würde zu weitläufig sein, hier noch weitere Beobachtungsreihen abzudrucken, deren ich noch mehrere aufgezeichnet habe. Die beiden mitgetheilten Tabellen genügen, um zu zeigen, dass das Wachstum bei Abkühlung auf 5—6° plötzlich still steht oder doch so gemindert wird, dass es zunächst auch mit dem Fernrohr nicht beobachtet werden kann, dass es dann beim Einbringen in höhere Temperatur gleich eine merkbare Grösse erreicht. Dabei erkennt man aber, wie sehr eine auch nur 10 Minuten dauernde Abkühlung der Wurzeln auf das unmittelbar folgende Wachstum schädigend wirkt.

In der ersten Tabelle ist der Zuwachs für die auf die Abkühlung folgende Stunde weniger als die Hälfte des stündlichen Zuwachses vor der Abkühlung, in der zweiten beträgt er 56 pCt. Noch viel geringer ist der Zuwachs in den ersten 10—20 Minuten nach der Abkühlung. In der Tabelle Seite 80 bemerkt man, dass in der Zeit von 12^h 44,5 bis 12^h 47,0 eine plötzliche Verschiebung der Wurzel um 2,5 Th. erfolgte. Ich glaube indess, dass diese an sich sehr kleine Verschiebung, denn sie entspricht etwa $\frac{1}{9}$ *mm*, nicht auf das Wachstum der Wurzel zurückzuführen ist, sondern auf Gestaltänderung der Nadel oder des Korkes, an dem die Pflanzen befestigt waren. Dass hier bei starken plötzlichen Temperaturänderungen Krümmungen u. dergl. vorkommen können, wird man leicht begreifen; dies weist darauf hin, bei unseren Versuchen keinen allzu grossen Werth auf sehr geringe Lagenänderungen der Wurzelspitze zu legen.

Die andere Methode, um mit Hülfe des Fernrohrs den Zuwachs der Wurzeln zu ermitteln, besteht darin, die Länge des im Wachsen begriffenen Theiles derselben von Zeit zu Zeit zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wurden in früher beschriebener Weise von der Spitze ab durch Tuschmarken 5—6 Abschnitte von je 2 *mm* bezeichnet, dann, nachdem die Wurzel einige Zeit (etwa 2 Stunden) bei der gewählten Temperatur gewachsen war, die Länge der Abschnitte mit dem Ocularmikrometer des Fernrohrs gemessen und diese Messung weiterhin nach Verlauf gleicher Zeitperioden wiederholt.

Man erhält so, indem man die Summe der Längen sämtlicher

Abschnitte am Ende eines Zeitraums von derselben Summe am Ende des früheren abzieht, die Grösse des Zuwachses während dieses Zeitraums. Da die Messung der einzelnen Abschnitte eine gewisse Zeit erfordert (im Minimum etwa 5 Minuten), so kann man die Messung nur in längeren Zeitabschnitten wiederholen; ich that dies gewöhnlich nach Verlauf einer halben Stunde. Dadurch, dass man nicht immer denselben Abschnitt der Wurzel in der entsprechenden Zeit misst (was kaum durchzuführen ist) entsteht ein kleiner Fehler; diesem Fehler ist es wohl hauptsächlich zuzuschreiben, dass die Resultate halbstündlicher Messungen beträchtlich stärkere Abweichungen zeigen, als wenn man je zwei dieser Resultate zusammenzählt und somit den Zuwachs für eine Stunde ermittelt.

Die Nutationskrümmungen haben bei dieser Methode eine etwas geringere Bedeutung als bei der erst besprochenen, weil die Krümmung sich meist über mehrere Abschnitte vertheilt und darum bei deren Messung wenigstens theilweise, und soweit sie nicht in die Gesichtslinie des Fernrohrs fällt, berücksichtigt wird. Etwas ungenau ist die Messung des letzten Abschnittes wegen der früher erwähnten Beschaffenheit des Endes der Wurzelspitze, doch ist in der Nähe der Spitze das Wachsthum überhaupt sehr gering und könnte ohne grossen Fehler ganz ausser Betracht gelassen werden.

Im Grunde ist die hier befolgte Methode nur eine genauere Modifikation des oft gebrauchten Verfahrens auf einem wachsenden Pflanzentheil durch Marken Strecken gleicher Länge aufzutragen und deren Zuwachs durch Messung mit einem Maassstabe zu bestimmen. Man benutzt dieses Verfahren bekanntlich, um die Länge der wachsenden Strecken und den Ort des stärksten Wachsthums zu bestimmen. Man kann dies natürlich auch aus den mit dem Fernrohr ausgeführten Messungen ableiten. Ich habe diese beiden Punkte bisher nicht zum Gegenstand besonderer Untersuchungen gemacht. Doch geht aus meinen Versuchen hervor, dass der im Wachsthum begriffene Theil der Wurzel eine etwas grössere Länge hat, als gewöhnlich angenommen wird; er ist bei kräftigen Wurzeln mindestens 13 *mm* lang (von der Spitze ab gerechnet). Uebrigens ist er nicht immer von gleicher Länge; ich habe schon durch frühere mit dem Maassstab ausgeführte Messungen gefunden, dass bei niederer Temperatur der wachsende Theil der Wurzel länger ist als bei höherer, also bei 18° länger als bei 27°. Daraus ergiebt sich aber unmittelbar, dass eine Strecke von gleicher Länge, am Vegetationspunkt gemessen, bei niederer Temperatur eine grössere Länge erreicht als bei höherer, dass somit die Temperatur des schnellsten Wachsthums nicht gerade diejenige ist, bei der die Theile am vollkommensten ausgebildet werden.¹⁾

1) Vergl. FRANK, Pflanzenkrankheiten, in SCHENK, Handb. d. Botanik. S. 429.

Ich gebe nun zunächst einige Beobachtungen bei ziemlich constanter Temperatur. Ich habe nur die Anfangszeit der Messung angegeben und darunter den Zuwachs der vorhergehenden halben Stunde. Wenn der Zwischenraum zwischen zwei Messungen manchmal 1—2 Minuten mehr beträgt als eine halbe Stunde, so liegt dies daran, dass dadurch eine etwas längere Dauer der vorhergehenden Messung compensirt werden sollte. In einigen wenigen Fällen fand eine Messung nach Verlauf eines längeren Zeitraums statt und wurde auf eine halbe Stunde reducirt, was durch ein r angedeutet wird. Die Grösse des Zuwachses ist in Theilstrichen angegeben, von denen 15 auf 1 mm gehen. Ich habe auf den folgenden Tabellen noch die mittlere Grösse des Zuwachses verzeichnet, sowie das Maximum der Abweichung in Procenten des mittleren Zuwachses = G. A.

I. 30. Juli.

Zeit	11h 31	12h 1	12h 31	1h 2	1h 31	2h 1	2h 32	3h 2	Mittel	G. A.	pCt.
Temp. Grad .	19,6	20,0	20,2	20,4	20,3	20,4	20,4	20,4			
Zuw. p. 1/2 Std.	12,8	12,6	10,1	13,5	13,4	11,5	15,1	10,7	12,5	21,0	
Zuw. p. 1 Std.		25,4		23,6		24,9		25,8		5,2	

II. 1. August.

Zeit	12h 55	2h 5	2h 38	3h 8	3h 38	4h 8	4h 38	Mittel	G. A.	pCt.
Temp. Grad .	20,3	20,6	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4			
Zuw. p. 1/2 Std.	12,9	13,2	14,2	12,9	14,9	14,5	12,9	13,6	6,6	
		r	r							
Zuw. p. 1 Std.		26,4		27,1		29,0		27,5	5,5	

III. 2. August.

Zeit	11h 2	11h 42	12h 15	12h 46	1h 16	1h 46	2h 17	3h 20	Mittel	G. A.	pCt.
Temp. Grad .	21,2	21,4	21,5	21,9	22,1	22,4	22,3	22,3			
Zuw. p. 1/2 Std.	12,0	11,9	11,4	13,5	13,7	12,7	12,4	13,8	12,7	8,7	
		r						r			
Zuw. p. 1 Std.		29,3		24,9		26,4		27,7	25,7	7,8	

IV. 5. August.

Zeit	11h 36	12h 17	12h 47	1h 7	1h 47	2h 18	Mittel	G. A.	pCt.
Temp. Grad .	22,3	22,5	22,7	22,8	22,9	23,2			
Zuw. p. 1/2 Std.	13,4	16,3	14,2	14,8	15,8	13,3	14,6	11,4	
Zuw. p. 1 Std.		29,7		29,0		29,1	29,3	1,4	

V. 6. August.

Zeit	12h 14	12h 44	1h 44	1h 44	2h 14	2h 44	3h 14	3h 44	4h 58	Mitt.	G. A.	pCt.
Temp. Grad	23,4	23,4	23,5	23,6	23,7	23,8	23,8	23,9	23,9			
Zuw. p. 1/2 St.	11,8	12,2	9,4	12,1	13,4	10,2	15,3	13,4	16,0	12,6	27,0	
									r			
Zuw. p. 1 St.		24,0		21,5		23,6		28,7	32,0	26,0	23,1	

Die obigen Tabellen werden hinreichen, um ein Bild der Gleichmässigkeit des Wachstums zu geben, wie es sich aus dieser Methode ergibt. Sie ist im Ganzen mühsamer aber zuverlässiger als die directe Beobachtung des Vorrückens der Wurzelspitze.

Die folgenden Tabellen beziehen sich auf die Unterbrechung des Wachstums durch Versetzen der Wurzeln in Wasser von 2—3°. Ich liess hier die Wurzeln gewöhnlich eine halbe Stunde in dieser Temperatur. Anfangs (in den beiden ersten hier mitgetheilten Versuchen) habe ich dann die Länge des markirten Theils der Wurzel noch in dem kalten Wasser bestimmt, da sich indessen im Versuch vom 6. August herausstellte, dass das Wachstum in der ersten Zeit des Verweilens der Wurzeln im warmen Wasser so gering ist, dass es gar nicht wahrgenommen werden kann, so habe ich in den beiden letzten Versuchen die Wurzeln erst unmittelbar nach dem Versetzen in das wärmere Wasser gemessen.

2. August.						
Zeit	6h 4	6h 34	7h 2	7h 37	8h 7	12h 34
Temp. Grad .	22,7	22,7	3—6	22,1	22,4	22,1
Zuw. p. 1/2 Std.	12,1	11,7	—,0,4	7,9	6,1	8,8
						r

Die Wurzel kam um 6h 39 in Wasser von 2—3°, wurde in diesem von 7h 2—7h 9 gemessen, wobei die Temperatur zuletzt 6° betrug und kam dann wieder in Wasser von 22,1°. In den nächsten 8 Stunden nach dem Versuch betrug der Zuwachs 9,4 Th. in einer halben Stunde.

3. August.						
Zeit	12h 6	12h 36	1h 6	1h 42	2h 11	3h 11
Temp. Grad .	21,6	21,9	22,2	3—4	22,5	22,1
Zuw. p. 1/2 Std.	11,8	13,6	14,9	—,0,2	4,9	6,4

Die Wurzel kam um 1h 11 in Wasser von 2—3°, wurde dann in diesem bei 3—4° von 1h 42—1h 49 gemessen, kam dann in Wasser von 22,4°.

6. August.										
Zeit	6h 10	6h 40	7h 10	7h 46	8h	8h 30	9h	9h 30	10h	10h 30
Temp. Grad .	23,6	23,5	23,4	4—6	23,2	23,4	23,6	23,8	24,2	24,0
Zuw. p. 1/2 Std.	12,0	14,8	15,2	0,9	—,0,1	4,9	4,9	4,5	4,8	7,4

Die Wurzel blieb von 7h 15—7h 45 in Wasser von 2—4°, wurde dann darin von 7h 46—7h 56 gemessen, kam dann in Wasser von 23,2°, worin sie von 8h -- 8h 4 gemessen wurde und dann verblieb. In den nächsten 7 Stunden bei 24—21° wuchs die Wurzel im Mittel um 7,5 Th. per 1/2 Stunde.

7. August.											
Zeit	12h 30	1h	1h 30	2h	3h	3h 30	4h	4h 35	5h 5	5h 35	6h 25
Temp. Grad .	23,6	22,7	22,8	23,0	23,0	23,1	23,0	23,0	23,0	23,0	22,8
Zuw. p. 1/2 Std.	14,1	12,4	12,2	10,5	9,2	12,0	10,1	0,6	6,8	8,3	7,7
											r

Die Wurzel war von 4h 3—4h 36 in Wasser von 3°, kam dann in solches von 23° und wurde sofort gemessen. In den nächsten 3 Stunden wuchs sie um 11,2 Th. in einer halben Stunde (bei 22,8—22,0°).

8. August.

Zeit	1h 45	2h 15	2h 45	3h 15	3h 45	4h 20	4h 50	5h 20	5h 50
Temp. Grad .	21,8	22,0	22,0	22,2	22,2	22,6	22,4	22,4	22,3
Zuw. p. $\frac{1}{2}$ Std.	11,1	12,3	10,8	10,2	10,4	-0,7	6,1	7,5	4,9

Die Wurzel wurde um 3^h 50 in kaltes Wasser von 2—3° gesetzt, blieb darin bis 4^h 20, kam dann in Wasser von 22,6° und wurde unmittelbar darauf von 4^h 20—25 gemessen. In den nächsten 2 $\frac{1}{2}$ Stunden nach dem Versuch wuchs die Wurzel um 7,5 Th. per $\frac{1}{2}$ Stunde. In den folgenden 4 Stunden um 11,2 Th. per $\frac{1}{2}$ Stunde.

Die mitgetheilten Versuche zeigen sehr deutlich, wie stark das Wachstum der Wurzeln durch das halbstündige Verweilen in Wasser von 2—3° herabgedrückt wird. Die grössere Kälte und deren längere Einwirkung erklären, warum ihr Einfluss hier ein stärkerer ist als bei den früher beschriebenen Beobachtungen. Merkwürdig ist, dass bei der Mehrzahl der Versuche eine Verkürzung der Wurzel nach dem Verweilen im kalten Wasser festgestellt wurde. Obwohl die Grösse derselben gering ist, so ist doch an der Realität nicht zu zweifeln, um so mehr, da man von vornherein eine Verlängerung des gemessenen Theils der Wurzel erwarten musste. Denn die letzte Messung, die ausgeführt wurde, während die Wurzel noch im warmen Wasser verweilte, erfordert immerhin 3—5 Minuten, und so hatte die Wurzel immer noch 1—2 Minuten Zeit zu wachsen, ehe das Wachstum durch das Einbringen in das kalte Wasser zum Stillstand gebracht wurde. Sie musste also bei dem Herausnehmen aus dem letzteren etwas länger sein als bei der vorhergehenden Messung.

Die schädliche Einwirkung einer plötzlichen Abkühlung auf wachsende Pflanzen ist schon seit langer Zeit bekannt. Ich schliesse dies aus der in allen Büchern über Gartenbau eingeschärften Regel, die Pflanzen bei warmer Witterung nicht mit zu kaltem Wasser zu begiessen, sondern nur solches von der jeweiligen Lufttemperatur anzuwenden. Ich konnte aber bis jetzt nicht ermitteln, welche schädlichen Folgen die Anwendung kalten Wassers nach sich zieht. Ich halte es für wahrscheinlich, obwohl ich bisher keine dahin gerichteten Versuche angestellt habe, dass eine oft wiederholte Abkühlung der Wurzeln das Wachstum derselben dauernd schädigen dürfte.

III.

Am Schlusse dieses Aufsatzes will ich noch einige Bemerkungen darüber machen, wie die hier berichteten Thatsachen sich zu den jetzigen theoretischen Anschauungen über das Wachstum verhalten. Ich muss dabei etwas näher auf diese eingehen, doch soll dies mit möglichster Kürze geschehen, da sie in letzter Zeit wiederholt erörtert

worden sind. Es soll dabei zunächst das Wachsthum der Zellhaut und zwar besonders ihr Flächenwachsthum berücksichtigt werden.

Bekanntlich hat NÄGELI seine auf gründliche Untersuchung gestützte Ansicht, dass die Stärkekörner durch Intussusception wachsen, auch auf die Zellhaut ausgedehnt. Die Anziehung der Micellen der Zellhaut zu den in gelöster Form vom Protoplasma ausgeschiedenen Cellulosetheilchen soll nach NÄGELI die Ursache des Wachstums sein. SACHS, der sich anfangs NÄGELI's Ansicht angeschlossen hatte¹⁾, erklärte später das Flächenwachsthum der Membran in anderer Weise²⁾. Er nahm an, dass durch den hydrostatischen Druck des Zellsaftes, den Turgor, die Zellhaut ausgedehnt, und dann vom Plasma aus die Cellulose eingelagert werde. SACHS' Theorie unterscheidet sich von der NÄGELI'schen wesentlich dadurch, dass er den Turgor als ein für das Wachsthum nothwendiges Erforderniss ansieht.

Im Jahre 1880 hat SCHMITZ³⁾ die vorher mit wenig Ausnahmen allgemein angenommene Ansicht von dem Wachsthum der Zellhaut durch Intussusception bekämpft. Er wies wesentlich auf Grund mikroskopischer Beobachtungen nach, dass die Zellhaut durch Apposition in die Dicke wächst, während ihr Flächenwachsthum durch passive Dehnung der älteren Schichten unter gleichzeitiger Apposition von neuen an der Innenseite erfolgt. Doch drückt sich SCHMITZ hierbei mit lobenswerther Vorsicht aus. Er beschränkt seine Folgerungen nur auf die von ihm selbst beobachteten Fälle; dazu bemerkt er ausdrücklich, dass die jüngste noch ungeschichtete Lamelle der Zellhaut sehr wohl durch Intussusception in die Fläche wachsen könne. SCHMITZ spricht sich nicht näher darüber aus, wodurch die passive Dehnung beim Flächenwachsthum veranlasst wird, doch nimmt er wohl unzweifelhaft den Turgor als die Ursache an und kann somit als der Urheber der neueren abgeänderten Turgortheorie oder Dehnungstheorie des Flächenwachstums bezeichnet werden.

Auf einem entschiedeneren Standpunkte steht STRASBURGER⁴⁾. Er hat SCHMITZ' Beobachtungen durch zahlreiche neue Thatfachen vermehrt und leugnet auf Grund derselben überhaupt die Möglichkeit, dass die Zellhaut durch Intussusception wachsen könnte. An STRASBURGER schliessen sich BERTHOLD⁵⁾ und NOLL⁶⁾ an, von denen der letztere auf Grund einer neuen Methode wiederum zahlreiche neue

1) SACHS, Handbuch der Experimentalphysiol. d. Pfl. Leipzig 1865. S. 435 f.

2) Zuerst in SACHS, Lehrb. d. Botanik. 3. Aufl. Leipzig 1873. S. 699.

3) Sitzungsber. d. niederrh. Ges. f. Nat. u. Heilk. in Bonn, 6. Dez. 1880.

4) STRASBURGER, Ueber d. Bau u. d. Wachsthum d. Zellhäute. Jena 1882. S. 175, f.

5) BERTHOLD, Studien über Protoplasma-mechanik. S. 274, f.

6) NOLL, Experimentelle Untersuchungen über d. Wachsthum d. Zellmembran. Abh. d. Senkenb. naturf. Ges. IV.

Beweise für die Ansicht mittheilt, dass das Flächenwachsthum der Zellhaut lediglich durch Dehnung in Folge des Turgors erfolgt.

Ich glaube, dass diese Lehre, welche das Flächenwachsthum der Zellmembran als eine Wirkung des Turgors hinstellt, ihre allgemeine Verbreitung hauptsächlich dem Umstande zu verdanken hat, dass sie anscheinend sehr einfach ist. Aber gerade diese Einfachheit spricht, wie ich meine, eher dagegen als dafür; denn die ihrer inneren Natur nach so verwickelten Lebensvorgänge lassen sich gewöhnlich nicht auf so einfache Weise erklären.

In der That sind schon frühzeitig gewichtige Einwände gegen die Turgortheorie gemacht worden. Da sie von deren Anhängern gewöhnlich nicht berücksichtigt werden, halte ich es für angemessen hier etwas ausführlicher darauf einzugehen. NÄGELI¹⁾ hatte sich schon in seinem grossen Werke über die Stärkekörner die Frage vorgelegt, ob die Gestaltänderung der Zellen beim Wachsen durch den hydrostatischen Druck des Zellsafts bewirkt werden kann. Er verneint dies, „weil es mehrere Thatsachen des Wachsthum's giebt, welche sich nur durch Intussusception erklären lassen. Dahin gehört die Verlängerung von freien cylindrischen Zellen, welche oft sehr beträchtlich und zuweilen vorzugsweise oder ausschliesslich in bestimmten Zonen thätig ist.“ NÄGELI bemerkt weiter, dass der hydrostatische Druck der Zellflüssigkeit auf alle Stellen der Membran ein gleicher sein, und dass daher jede frei im Wasser oder in der Luft befindliche Zelle das Bestreben zeigen muss, sich der Kugelgestalt zu nähern. Nun kann eine verschiedene Cohäsion allerdings diesem Streben entgegenwirken. Die Erscheinungen, die man an vielen wachsenden Zellen beobachtet, können aber nicht durch verschiedene Cohäsion erklärt werden. NÄGELI stellt dies an zwei Beispielen näher dar.

Die Internodialzellen von *Nitella* wachsen von der ersten Anlage bis zum entwickelten Zustande 2000 mal in die Länge und nur 10 mal in die Dicke (wozu noch hinzugefügt werden kann, dass die der Anlage nach ganz ähnlich gestalteten Blattknotenzellen nur ganz unbedeutend in die Länge wachsen). Die Fäden von *Spirogyra* werden sehr lang, indem sie die ursprüngliche Dicke behalten und dabei cylindrisch bleiben. Solche Unterschiede können, wenn das Wachsthum durch hydrostatischen Druck bewirkt wird, nicht durch verschiedene Cohäsion der Membran erklärt werden. Bei *Spirogyra* hat NÄGELI überdies die elastische Dehnbarkeit der Membran durch Messung der Verkürzung bei Aufhebung des Turgors annähernd bestimmt und sie nach der Längsrichtung, wie nach Richtung des Durchmesser's der Zellen nicht wesentlich verschieden gefunden. Die von NÄGELI näher beschriebenen Fälle sind aber keineswegs seltene Ausnahmen; alle

1) NÄGELI, Die Stärkekörner. S. 277—288.

vorwiegend in die Fläche oder in die Länge wachsenden Pflanzen und Pflanzentheile verhalten sich ähnlich. Es ist auch klar, dass man über die Schwierigkeiten, welche solche Fälle der Turgortheorie entgegenzusetzen, nicht hinwegkommt, wenn man annimmt, dass das Protoplasma auf die Zellhaut einen chemischen Einfluss ausübt, der ihre Dehnbarkeit vermehrt. Eine Erweichung der Membran, die nur nach einer Richtung wirksam sein soll, steht doch durchaus mit der Erfahrung im Widerspruch¹⁾.

Von mehreren Seiten, so von ZIMMERMANN²⁾ und KRABBE³⁾, ist gegen die Turgortheorie der Einwand erhoben worden, dass die Zellhaut nicht in dem Masse dehnbar ist, wie dies jene Theorie erfordert. Insbesondere hat KRABBE an dem Flächenwachsthum der erweiterten Bastzellen von *Apocynen* und *Asclepiadeen* einen Fall nachgewiesen, der mit der Turgordehnungstheorie nicht wohl vereinbar ist. Die Gegenbemerkung WORTMANN's gegen ZIMMERMANN ist mir nicht ganz verständlich. WORTMANN sagt⁴⁾: „Man hat nur zu berücksichtigen, dass während der Dehnung durch Apposition neuer Membranelemente der Querschnitt der Membran wieder vergrößert wird und daher dieselbe oder eine annähernd gleiche Dehnbarkeit wiederhergestellt wird, wie sie anfangs herrschte. Sobald die Membran daher durch den Turgordruck überhaupt, wenn auch um ein Minimales, gedehnt werden kann, ist schon ein fortdauerndes Flächenwachsthum möglich, wenn nämlich, gleichbleibenden Turgordruck für die Flächeneinheit vorausgesetzt, die Apposition derart ist, dass die ursprüngliche Querschnittsgrösse der Membran nicht überschritten wird.“

Ich kann nicht einsehen, wie durch Apposition neuer Lamellen, die Dehnbarkeit der alten Zellhaut verändert werden kann. Etwas anderes ist es, wenn man mit KLEBS⁵⁾ eine Veränderung der Dehnbarkeit der Zellhaut durch das Protoplasma annimmt. Doch inwiefern eine solche Annahme für die von KRABBE untersuchten Bastzellen zulässig ist, vermag ich nicht zu beurtheilen.

PFEFFER hat schon vor längerer Zeit aus der Nothwendigkeit des Sauerstoffs für das Wachsthum einen beachtenswerthen Schluss gezogen. Er sagt⁶⁾, „der mit Entziehung des Sauerstoffs erzielte Wachsthumstillstand beruht u. a. offenbar darauf, dass die Thätigkeiten er-

1) Ich glaube auch nicht, dass die Angaben BERTHOLD's (a. a. O. S. 274—277). die hier besprochene Schwierigkeit beseitigen.

2) ZIMMERMANN's Morphologie und Physiologie d. Pflanzenzelle in SCHENK, Handb. d. Botanik, III. 2. S. 648.

3) KRABBE, Ein Beitrag zur Kenntniss der Structur und des Wachsthums vegetabilischer Zellhäute. Pringsh. Jahrb. XVIII. S. 390, f.

4) Botanische Zeitung 1889. Sp. 302.

5) Botanische Zeitung 1888. Sp. 370.

6) PFEFFER, Pflanzenphysiologie, II. S. 58 u. 59.

löschen, welche der Zellhaut das aus dem Protoplasma stammende Nährmaterial liefern. Denn der Turgor dauert zunächst in seiner vollen Höhe fort, und es ist gewiss sehr unwahrscheinlich, dass in diesem Falle durch Veränderungen in der Molecularstructur der Zellhäute das Wachstum sistirt wird, das mit Zutritt des Sauerstoffs sogleich wieder beginnt.“ Weiterhin folgert PFEFFER noch hieraus, „dass durch die in den Pflanzen wirksamen Zugkräfte die Elasticitätsgrenze nicht überschritten wird. Denn da hierbei (bei der Sauerstoffentziehung) der Turgor und überhaupt die Spannungen zunächst nicht verringert werden, so würde auch noch eine gewisse Verlängerung zu Stande kommen, wenn die in der Pflanze gegebenen Zugkräfte ausreichen, die wachstumsfähigen Zellhäute über die Elasticitätsgrenze zu dehnen.“ PFEFFER steht hier auf dem Boden der ursprünglichen SACHS'schen Turgortheorie, die eine Einlagerung von Cellulosetheilchen in die gedehnte Zellhaut annimmt. Ich sehe nicht, wie die von ihm erwähnte Erscheinung mit der neuen Dehnungstheorie in Einklang zu bringen ist.

STRASBURGER hat dies zwar versucht, er sagt¹⁾: „Da bei Sauerstoffabschluss auch die Bildung neuer Lamellen durch Apposition sistirt wird, so lässt sich die gegebene Beobachtung mit Intussusception- wie Appositionswachstum in Einklang bringen, denn in beiden Fällen müsste das Protoplasma gleich thätig in den Wachstumsvorgang eingreifen.“

Aber auch hier müssen wir bemerken, warum soll denn beim Aufhören der Apposition neuer Lamellen auch die durch Turgor bewirkte Dehnung der Zellhaut und damit das Flächenwachstum derselben sofort aufhören?

Endlich verdanken wir KLEBS eine Beobachtung, die für die Kenntniss der beim Wachstum thätigen Kräfte von grosser Bedeutung ist. In seinen „Beiträgen zur Physiologie der Pflanzenzelle²⁾“ beschreibt er ausführlich das Wachstum nackter durch Plasmolyse erzeugter Protoplasten von *Zygnema*, die ein beträchtliches Längenwachstum bei unveränderter Breite und Dicke zeigen. Die Folgerungen, die sich hieraus ergeben, fasst er in nachstehendem Satz zusammen³⁾: „Der Turgor ist überhaupt keine Ursache des Wachstums, sondern nur für den speciellen Fall der mit fester Zellwand umkleideten Pflanzenzelle eine wichtige Bedingung für dasselbe. Die Wachstumsursachen liegen in unbekanntem Verhältnissen des Protoplasmas. Die blosse Zunahme des endosmotischen Druckes im Zellsaft kann auch nur als eine und nicht als die wesentlichste Ursache angesehen werden.“

1) STRASBURGER, Ueber den Bau und das Wachstum der Zellhäute. S. 193.

2) Untersuchungen aus dem botanischen Institut zu Tübingen. II. 525 f.

3) a. a. O. S. 564.

Wenden wir uns nun zu den positiven Beweisen für die Turgortheorie. SACHS führt zu ihren Gunsten hauptsächlich die Thatsache an, dass alle wachsenden Zellen Turgor besitzen. Dies ist jedoch, wie KRABBE¹⁾ näher ausgeführt hat, kein zwingender Grund für deren Richtigkeit. DE VRIES suchte die Turgortheorie weiter durch den Nachweis zu stützen, dass die Geschwindigkeit des Wachstums von der Grösse der Turgorkraft abhängt.

In Bezug auf DE VRIES' Versuche, die zum Theil von WORTMANN mit etwas abweichendem Resultat wiederholt worden sind, kann ich ebenfalls auf KRABBE's²⁾ Kritik verweisen.

Im vergangenen Jahr hat WORTMANN³⁾ eine grössere Arbeit veröffentlicht, worin er mit Entschiedenheit für die Turgortheorie eintritt. WORTMANN⁴⁾ hat schon in früheren Arbeiten nachzuweisen versucht, dass die Reizbewegungen der Gewächse hauptsächlich durch die ungleiche Dehnbarkeit der Membran zweier antagonistischen Seiten veranlasst werden und dass diese verschiedene Dehnbarkeit durch die verschiedene Ergiebigkeit in der Bildung der Membran, also durch grösseres oder geringeres Dickenwachstum bedingt wird. Er fasst seine Untersuchungen in den Satz zusammen⁵⁾: „Die Grösse des in einer gegebenen Zeit erzielten Zuwachses ist das Resultat aus dem Ineinandergreifen jener beiden soeben bezeichneten Variablen — Turgorkraft und Membranbildung.“ In der neueren Arbeit sucht nun WORTMANN die grosse Periode des Wachstums aus der Variation der eben genannten Momente abzuleiten. Das Resultat, zu dem er gelangt, theilt er in folgenden Worten mit⁶⁾: „Die in dem Vorstehenden mitgetheilten Beobachtungen bieten zunächst eine directe Bestätigung der SACHS-DE VRIES'schen Lehre, dass das Wachstum der Zelle und das Flächenwachstum der Membran in directer Abhängigkeit ist von der Grösse des in der Zelle wirkenden Turgordruckes und der dadurch hervorgerufenen Turgorausdehnung.“

Es zeigte sich, dass bei der grossen Periode des Wachstums Hand in Hand mit dem allmählichen Wachsen der Turgorkraft auch eine successive Beschleunigung des Zellenwachstums bis zum maximalen Wachstum eintritt, dass dann die allmähliche Retardation im Wachstum bei gleichbleibender Turgorkraft die Folge ist der geringeren Turgorausdehnung der durch fortdauernde Membranbildung immer weniger dehnbar gemachten Membran.

1) KRABBE, Das gleitende Wachstum. Berlin 1886, S. 67.

2) a. a. O. S. 69.

3) WORTMANN, Beiträge zur Physiologie des Wachstums. Botan. Ztg. 1889, Nr. 14—18.

4) WORTMANN, Zur Kenntniss der Reizbewegungen. Bot. Ztg. 1887, Nr. 48—51.

5) Bot. Ztg. 1889, Sp. 230.

6) Botan. Ztg. 1889, Sp. 293.

Die Versuche WORTMANN's sind mit sorgfältiger Berücksichtigung der in Betracht kommenden Factoren angestellt, so dass man gegen sie nicht die Einwände, die KRABBE gegen DE VRIES geltend gemacht hat, erheben kann. Aber ich glaube nicht, dass die Schlussfolgerungen, die WORTMANN aus seinen Versuchen ableitet, vollkommen sicher begründet sind. Denn die aus diesen sich ergebenden Zahlenunterschiede für die hier in Betracht kommenden Grössen sind doch in vielen Fällen recht gering. So finden wir¹⁾ unter den vier Beobachtungen am Epicotyl von *Phaseolus multiflorus*, die WORTMANN als Beweis dafür mittheilt, dass die Turgorkraft von den jüngsten Theilen bis zum Orte des Maximums der Zuwachsgrösse zunimmt, zwei, wo der Unterschied in der Turgorkraft dem von 11- und 12-prozentiger, oder von 13- und 14-prozentiger Zuckerlösung entspricht; bei einem Fall war der Unterschied 2 pCt.; der vierte Fall kommt nicht in Betracht, da hier das maximale Wachstum bereits in der jüngsten Region lag. Ich muss gestehen, dass mir diese Unterschiede in der Turgorkraft, wenn man sie mit den Unterschieden der Zuwachsgrössen vergleicht, doch sehr gering vorkommen, und dass es mir bedenklich scheint, daraus Schlüsse in Bezug auf die Bedeutung der Turgorkraft für das Wachstum zu ziehen. Diese Ansicht mag eine rein subjective sein. Ich glaube aber, dass, so lange uns noch ganz unbekannt ist, in wiefern eine grössere oder geringere Steigerung des Turgors das Wachstum beeinflusst, man die hier geäusserten Zweifel nicht unberechtigt finden wird.

Ich glaube auch, dass, wenn man versuchen würde, mit Hilfe der Turgortheorie andere Eigenthümlichkeiten des Längenwachstums zu erklären, man auf recht grosse Schwierigkeiten stossen dürfte. So führte ich schon früher die Blattknotenzenellen von *Nitella* an, die so gut wie gar nicht in die Länge wachsen, ein Fall, der bekanntlich im Pflanzenreich weit verbreitet ist.

Zu Gunsten der Turgortheorie werden auch oft die Dehnungen und Zerreibungen geltend gemacht, die von mehreren Beobachtern, insbesondere von SCHMITZ, STRASBURGER, BERTHOLD und NOLL beobachtet und beschrieben worden sind. Aber diese Erscheinungen sind alle nur an älteren Zellschichten beobachtet worden, und man kann daraus zunächst nur folgern, dass das Wachstum der älteren Schichten von dem der jüngeren verschieden ist. Das oft als Beispiel angeführte *Petalonema alatum* mit seinen zahlreichen Gallerthüllen zeigt doch nur, dass diese Gallerthüllen von dem wachsenden inneren Faden gesprengt werden; ob dieser durch Turgordehnung oder auf irgend eine andere Weise wächst, bleibt dabei ganz unbekannt.

1) a. a. O. Sp. 251—253.

Wenn Pflanzenzellen wachsen und dabei ihre Gestalt ändern, so nehmen an der Gestaltänderung sowohl Protoplasma wie Zellhaut theil.

Bei den bisher versuchten Erklärungen des Wachstums hat man das Zellhautwachsthum zu ausschliesslich berücksichtigt, wohl deswegen, weil man das Wachsthum des Plasmas als eines weichen, halbflüssigen Körpers in einfacher Weise aus dem bestehenden Turgordruck ableiten zu können meinte.

Aber die halbflüssige Beschaffenheit des Protoplasmas schliesst dessen active Gestaltänderung nicht aus. Für das active Wachsthum des Protoplasmas, das meiner Ansicht nach durch Intussusception stattfindet, obwohl BÜTSCHLI¹⁾ neuerdings eine andere Anschauung vertreten hat, lassen sich in grosser Zahl Beispiele anführen. Ich erinnere nur an die Myxomyceten, an viele primordiale Zellen, an die Chromatophoren, die in ihrem Wachsthum oft so sehr an das junger Zellen erinnern, und ferner an die Zellen der Thiere. Bei jeder Zelltheilung, die mit allmählicher Einschnürung des plasmatischen Wandbelegs vor sich geht, tritt das active Wachsthum des Plasmas deutlich vor Augen. Wenn es nun weiter ausnahmslose Regel ist, dass die Zellhaut nur wächst, so lange sie mit dem Plasma in Berührung ist, so liegt es doch nahe, anzunehmen, dass das Wachsthum des Plasmas unter allen Umständen die primäre Erscheinung ist, und dass das Zellhautwachsthum durch jenes bedingt und von ihm abhängig ist. Hierfür sprechen zahlreiche Thatsachen. In einigen Fällen sieht man sehr deutlich, dass das Wachsthum behüllter Zellen mit einer Ortsveränderung des Plasmas verbunden ist. Sehr schön zeigen dies die von PFITZER beschriebenen Keimschläuche des *Ancylistes Closterii*²⁾. Viele Reize wirken in gleicher Weise auf behülltes und unbehülltes Protoplasma; man denke nur an die bekannten und oft untersuchten Erscheinungen des Geotropismus, Heliotropismus, Trophotropismus u. s. w., die man an den Plasmodien der Myxomyceten ebenso schön ausgeprägt findet, wie an Plasma, das in Zellhäuten eingeschlossen ist. Auch bei der Copulation der sexuellen Zellen zeigt sich diese Analogie, wenn man z. B. die Copulation der Conjugaten mit der von sexuellen Schwärmzellen vergleicht. Bei jener sieht man deutlich, wie das Wachsthum der Zellhaut passiv der Gestaltänderung und Bewegung des Plasmas folgt.

Ich kann hier noch die Beobachtungen anreihen, die ich über die Beziehungen zwischen Wachsthum und Temperatur angestellt habe. Sie ergaben das Resultat, dass durch die verschiedene Höhe der Temperatur keine Aenderung in der Grösse der Turgordehnung der Zellen veranlasst wird; sie zeigten ferner, dass bei Temperatur-

1) Biologisches Centralblatt. VIII. 161.

2) Monatsberichte der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1872, 379—398.

erniedrigung das Wachstum ausserordentlich rasch und plötzlich sistirt wird. Wir wissen nun aus den Beobachtungen über Plasmabewegung, wie schnell und genau diese auf Temperaturänderungen reagirt, und wir sehen hieraus, dass auch in dieser Beziehung das Wachstum sich so verhält wie andere Lebenserscheinungen des Plasmas.

In der Ansicht, dass die Ursache des Zellenwachstums in Gestaltungsvorgängen des Protoplasmas zu suchen ist, stimmen wir mit den Folgerungen überein, die KLEBS aus seinen Beobachtungen an den plasmolysirten Protoplasten von *Zygnema* gezogen hat. Wenn man nun aber weiter geht und das Wachstum der Zellhaut aus dem Wachstum des Plasmas abzuleiten versucht, so stösst man auf grosse Schwierigkeiten.

Wie kann das weiche halbflüssige Plasma das Wachstum der festen Zellwand veranlassen. KLEBS spricht sich über diesen Punkt nicht näher aus, er deutet nur an mehreren Stellen auf eine mögliche Erweichung der Zellwand durch das lebende Plasma hin, die schon früher von STRASBURGER¹⁾ und neuerdings von NOLL²⁾ zur Erklärung von Wachstumsvorgängen angenommen worden ist. Wenn auch ich zugeben muss, dass eine Erweichung der Zellhaut sehr wohl bei manchen Wachstumserscheinungen eine Rolle spielen kann, so reicht sie doch im Allgemeinen nicht aus. Wir haben schon früher Fälle kennen gelernt, wo eine solche Erklärung nicht genügt. Ferner besitzen viele wachsende Zellen Membranen von grosser Festigkeit, man sieht durchaus nicht ein, wie sie durch Gestaltungsvorgänge des so weichen und für Wasser leicht durchlässigen Protoplasmas zum Wachsen veranlasst werden könnten.

Soll man nun wieder auf die NÄGELI'sche Intussusceptionslehre zurückkommen? Nach meiner Ansicht sind die meisten der Gründe, die gegen das Flächenwachstum durch Intussusception vorgebracht worden sind, nicht stichhaltig. Doch ist nicht zu leugnen, dass durch neuere Beobachtungen eine wesentliche Grundlage dieser Lehre zweifelhaft geworden ist. So lange man glaubte, dass die neu sich bildende Zellhaut durch Ausscheidung von Cellulose an der Aussenseite des Plasmas entsteht, war es natürlich anzunehmen, dass auch das Wachstum der Zellhaut durch Einlagerung von Cellulosetheilchen aus einer vom Plasma abgeschiedenen Mutterlauge stattfindet. Jetzt, wo man die Zellhaut aus Umbildung des Plasmas oder vielmehr der darin enthaltenen Mikrosomen entstehen lässt, ist der Intussusceptionslehre eine Hauptstütze entzogen, obwohl es immerhin möglich ist, dass die Membran sich beim Wachstum anders verhält als bei der ursprüng-

1) Bau und Wachstum der Zellhäute. S. 179 f.

2) Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg. III, 496—533.

lichen Anlage. Auch sind ja unzweifelhaft viele Stoffe, die sich in alten Zellhäuten finden, in flüssiger Form aus dem Plasma dahin eingewandert.

Man kann aber auch annehmen, dass die Cellulose beim Flächenwachsthum in fester Gestalt in Form von Mikrosomen in die Zellwand eingelagert wird. Diese Annahme hätte vieles für sich. Sie steht im Einklang mit dem, was wir über Entstehung der Membranen wissen. Sie lässt das Flächenwachsthum der Zellwand als direct von der Thätigkeit des Plasmas abhängig erscheinen und beseitigt somit viele früher erwähnten Schwierigkeiten. — Die jüngsten Schichten der Zellhaut dürften weich genug sein, um eine Einschiebung von Mikrosomen zu gestatten. Später könnten sie fester werden, vielleicht unter Volumvergrößerung¹⁾, und damit könnte eine Dehnung älterer Schichten verbunden sein. Es lohnt aber nicht der Mühe, näher auf diesen Gegenstand einzugehen, so lange nicht Beobachtungen vorliegen, die für die hier vorgeschlagene Ansicht sprechen. Ich habe sie hier auch nur, um solche anzuregen, mitgetheilt.

Das Verhältniss des Plasmawachsthums zum Zellhautwachsthum gestaltet sich sehr einfach, wenn man der WIESNER'schen Ansicht zustimmt, dass die Zellhaut von lebendem Plasma durchsetzt ist²⁾. Man könnte dann das Flächenwachsthum der Zellhaut durch theilweise Umbildung des darin enthaltenen Plasmas zu Cellulose erklären; letzteres würde dabei auch am Wachsthum des gesammten Plasmas Theil nehmen, und so würde das Zellhautwachsthum als durch das des Plasmas bedingt erscheinen. Es liegt nicht in meiner Absicht, näher auf die WIESNER'sche Arbeit einzugehen. Sie ist ja in neuerer Zeit wiederholt erörtert worden. Ich verkenne auch keineswegs das Gewicht der Gründe, die man gegen WIESNER's Anschauungen geltend gemacht hat. Doch sind auch manche für WIESNER sprechende Thatsachen bekannt geworden. So hat sich neuerdings STRASBURGER³⁾ wenigstens in gewissen Fällen für Einwanderung von Plasma (Hyaloplasma) in die Membran ausgesprochen.

Die sichere Lösung der Frage, wie die Pflanzenzelle wächst, haben wir von der mikroskopischen Forschung zu erwarten. Diese Lösung muss aber mit den an lebenden Pflanzen gewonnenen Erfahrungen im Einklange stehen; so lange das nicht der Fall ist, darf man, wie ich glaube, die Frage nicht als entschieden betrachten.

1) Vgl. STRASBURGER, Bau und Wachsthum der Zellhäute. S. 82.

2) WIESNER, Untersuchungen über die Organisation der vegetabilischen Zellhaut. Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien 1886. XCIII. 1 Abth. S. 17—80.

3) STRASBURGER, Histologische Beiträge. Jena 1889. Heft II. S. 41, 45, 133, 171—174.

- Heft 4 (S. 119—148) ausgegeben am 21. Mai 1890.
 Heft 5 (S. 149—174) ausgegeben am 23. Juni 1890.
 Heft 6 (S. 175—194) ausgegeben am 21. Juli 1890.
 Heft 7 (S. 195—224) ausgegeben am 22. August 1890.
 Heft 8 (S. 225—310) ausgegeben am 26. November 1890.
 Heft 9 (S. 311—342) ausgegeben am 21. December 1890.
 Heft 10 (S. 343—384) ausgegeben am 28. Januar 1891.
 Generalversammlungsheft (Erste Abtheilung) S. (1)—(100) ausgegeben am
 29. December 1890.
 Generalversammlungsheft (Zweite Abtheilung) S. (101)—(266) ausgegeben am
 12. März 1891.

Berichtigungen.

- Seite 2, Zeile 21 von unten lies *Rumex olympicus* statt *Plumex olympiacus*.
 „ 62, „ 4 „ oben lies Geheimrath KÜHNE statt Gebr. KÜHNE.
 „ 65, „ 11 „ „ „ SCHMIDT und HAENSCH statt MÜLLER und HENSCH.
 „ 67 beziehen sich in der Tabelle nnter dem 11. December die Worte „in Wasser“ nur auf die erste Columnne, die Worte „in 15-procentiger Salpeterlösung“ auf die vier folgenden Columnnen.
 „ 69, Zeile 5 von unten ist nach dem Worte „Fehler“ ein Punkt zu setzen. Der folgende Satz soll beginnen: „Diese Strecke,“
 „ 71, Zeile 9 von oben lies 33,3 statt 3,33
 „ 72, „ 18 „ „ „ „ Culturegefäße statt Culturegelasse.
 „ 75, „ 9 „ „ „ „ 10^h 32 V. statt 19^h 32 V.
 „ 75, „ 22 „ „ „ „ bei Nr. 1—5 statt bei 1—5°.
 „ 75, „ 24 „ „ „ „ bei Nr. 6 statt bei 0°.
 Die letztgenannten Nummern beziehen sich auf die Tabelle auf S. 74.
 „ 76, Aum. lies „a. a. O., S. 524“ statt „a. a. O., S. 324“.
 „ 77—81 ist in sämmtlichen Tabellen in der dritten Columnne unter „Zuwachs auf 1 Stunde red.“ das Zeichen *mm* zu streichen. Die Zahlen dieser Columnne sind nicht Millimeter, sondern entsprechen Theilstrichen des Ocularmikrometers, deren Grösse für jede Tabelle besonders bemerkt ist.
 „ 78, Zeile 4 nach der Tabelle ist hinter „durchschnittlichen“ einzuschalten „stündlichen“.
 „ 78 muss in der unteren Tabelle in der Columnne Zuwachs auf 1 Std. red. die zweite Zahl von unten 35,6 statt 53,6 heissen.
 „ 83 in Tab. III, 2. Aug. unter 11^h 42 Zuwachs pro 1 Std. lies 23,9 statt 29,3.
 „ 83 in Tab. V, 6. Aug. Zeit in der dritten Columnne lies 1^h 14 statt 1^h 44.
 „ 140 ist in Erklärung der Abbildungen für Fig. 10a zu setzen: „Obere Stipelerpidermis von *Larrea* nach Behandlung mit Kalilauge“. Für Fig. 10b „Untere Stipelepidermis von *Larrea* . . .“ Statt „Fig. 11b. Die untere desgl.“ ist zu setzen: „Fig. 11. Drüsenhaar von dem Blatte von *Escalonia resinosa*.“
 „ 155, Zeile 15 von oben lies „prosenchymatisches“ statt „drosenchymatisches“.
 „ 162, „ 9 von unten lies „*Senecio orientalis*“ statt „*Senecio orientale*“.
 „ 162, „ 7 „ „ „ „ *Martynia*“ statt „*Martinia*“.
 „ 196, „ 18 „ „ „ „ „Lösung der Wachsthumsfrage“ statt „Lösung des Wachsthums“.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1890

Band/Volume: [8](#)

Autor(en)/Author(s): Askenasy Eugen

Artikel/Article: [Ueber einige Beziehungen zwischen Wachstum und Temperatur 61-94](#)