

Wachstumsmessungen an Knospen und Vegetationspunkten.

Mit einer Tafel (VI).

Von

Otto Schüepp.

Inhaltsübersicht.

Seite

| | |
|--|----|
| I. Messungen nach der Methode von ASKENASY | 41 |
| II. Grundform der Wachstumskurven. Vorschlag zu einer neuen Darstellungsmethode | 43 |
| III. Weitere Messungsmethoden | 45 |
| IV. Messungsergebnisse an einigen Sprossknospen | 47 |
| V. Begriff und Berechnung der Wachstumsgeschwindigkeit | 49 |
| VI. Die Wachstumsverteilung in Wurzelspitzen | 52 |
| VII. Zählung der Kernteilungsfiguren in Wurzelspitzen | 53 |
| VIII. Kernteilungszählungen in Sprossknospen | 58 |
| IX. Zur Theorie des Wachstums. | 64 |
| Zusammenfassung | 66 |
| Literaturverzeichnis | 66 |
| Erklärung der Tafel | 68 |

I. Messungen nach der Methode von Askenasy.

Zur Bestimmung der Wachstumsverteilung innerhalb eines Organs dienen in der Regel künstliche Marken aus Tusche. Die Untersuchungen beschränken sich darum auch meist auf die von aussen unmittelbar sichtbaren ältesten Stengelteile oder auf die besonders einfach gebauten Wurzelspitzen.

KUIJPER (13)¹⁾ hat vorgeschlagen, durch regelmässig angeordnete Nadelstiche Marken im Innern der Knospen zu schaffen und hat damit beim Zuckerrohr gute Resultate erzielt.

Viel tiefer dringt aber die Methode von ASKENASY (2), der durch zweckmässige Verwertung der Internodiengrenzen als natürlicher Marken den Weg gezeigt hat, auf welchem vollständige

1) Die Zahlen hinter den Autornamen im Text beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss der Arbeit auf Seite 66.

Wachstumsbeschreibungen von Knospen erzielt werden können. Seine Untersuchungen sind an schwer zugänglicher Stelle veröffentlicht worden und haben bis heute nicht die Beachtung gefunden, die ihnen gebührt; sie sind die Grundlage für alle hier folgenden Ausführungen.

ASKENASY'S Methode beruht auf der Tatsache, dass der Vegetationspunkt einen periodischen Formwechsel durchmacht und dass infolgedessen das Gesamtwachstum der Knospe ebenfalls periodisch abläuft. Anhand einer vollständig durchgeführten Serie von Messungen soll zunächst die Methode kurz erläutert werden. (Vergl. 21, Seite 17—42).

An einem kräftigen Spross von *Calycanthus florida* wurde vom 30. Juli bis 1. August und wieder vom 9. bis 18. August 1919 die Länge der Stengelglieder und Blätter messend verfolgt. Am 18. August wurde die Knospe abgeschnitten, präpariert und mit Hilfe von Lupe und Mikroskop bis zum Vegetationspunkt ausgemessen.

Die Stengelglieder und Blätter nehmen gegen die Endknospe hin an Länge sprungweise ab; die Endknospe selbst ist umhüllt von einem Blattpaar, das sich nach einiger Zeit öffnet und periodisch eine neue kleinere Endknospe enthüllt. Die Entwicklung jedes einzelnen Teiles erfolgt aber durchaus nicht stossweise, wie die Lebendbeobachtung ohne weiteres ergibt.

In Figur 1 auf Tafel VI sind links die Resultate der Lebendbeobachtung an den Stengelgliedern Nr. 12—18 [ausgezogen] und an den zugehörigen Blättern [punktirt] wiedergegeben. Die Kurven der gleichnamigen Organe sind unter sich sehr ähnlich, nur in der Richtung der Zeit um einen bestimmten Betrag [6 Tage] gegeneinander verschoben. Dieser Abstand ist aber nichts anderes als der Altersunterschied aufeinanderfolgender Glieder, die Periode des Formwechsels am Vegetationspunkt, das „Plastochron“, wie es ASKENASY genannt hat.

Rechts in derselben Figur ist das Resultat der Ausmessung der ganzen Knospe am 18. August wiedergegeben. Wir betrachten dabei die einzelnen Blattindividuen als Repräsentanten für die verschiedenen Alterszustände eines Idealblattes, wählen ihren Altersabstand, das Plastochron, zur Zeiteinheit und können so ohne weiteres eine Kurve des Längenwachstums aufzeichnen.

Die Methode setzt voraus, dass der Entwicklungsverlauf der aufeinanderfolgenden gleichnamigen Organe identisch und ihr Altersabstand immer genau derselbe sei. Da dies nie genau richtig ist, da die Entwicklungsvorgänge ebenso variieren wie

die Entwicklungsergebnisse, die ausgewachsenen Organe, so werden auch nur Näherungsergebnisse zu erzielen sein.

Infolge der Variabilität schliessen die nach ASKENASY konstruierten Kurven nicht mit einer horizontalen Geraden ab, sondern mit einer Zickzacklinie, welche gerade die Variationen zum Ausdruck bringt. Das hindert aber, wie ein Blick auf Figur 1 lehrt, durchaus nicht, dass der Anstieg der Wachstumskurve durchaus richtig zum Ausdruck gebracht wird. Auffällige Variationen im Wachstumsergebnis beruhen auf sehr geringen Variationen im Wachstumsverlauf.

Bedingung für die Anwendbarkeit der Methode ist, dass innerhalb der gemessenen Knospe keine typischen Veränderungen im Entwicklungsverlauf eintreten, kein Wechsel der Blattform, auch kein Wechsel in der Qualität der Achsel sprosse; solche Veränderungen sind aber auch schon an den jüngsten Gliedern der Knospe morphologisch nachweisbar und die betreffenden Knospen können und müssen von der Untersuchung ausgeschlossen werden. Auch sollen die untersuchten Knospen unter annähernd konstanten äusseren Bedingungen aufgewachsen sein.

Daneben muss aber auch der Vorteil hervorgehoben werden, den ASKENASY's Methode im Vergleich zu allen andern Methoden bietet. Die Zeitdauer, während welcher das Wachstum eines Organes verfolgt wird, dehnt sich auf das Dreifache und Mehrfache aus; wir sind imstande, den Gesamtverlauf des Wachstums darzustellen und nicht bloss sein Ende, sein allmähliches Ausklingen. Das ist wichtig für die Beurteilung der Grundform der Wachstumskurven.

II. Grundform der Wachstumskurven. Vorschlag zu einer neuen Darstellungsmethode.

Figur 2, Tafel VI, gibt eine Wiederholung der Wachstumskonstruktion von Figur 1 unter Hinzufügung der Kurven für einige weitere Grössen, die an derselben Knospe gemessen wurden. Die Anfangslängen liegen zwischen 0,1 und 0,3 mm; die Endlängen steigen bis zu 150 mm. Es ist daher nicht möglich, Beginn und Ende der Wachstumskurven auf derselben Zeichnung und mit demselben Massstab deutlich zur Darstellung zu bringen.

Man wird zunächst versuchen, dem Übelstand durch einen anderen Längenmassstab abzuwehren, zum Beispiel durch eine Erhöhung der Ordinaten auf das Hundertfache. Daraus ergibt sich die Kurvenschar links in Figur 2, die den Anfang der Kurven deutlich darstellt, die aber mit ihrem Endteil auf der Zeichnungs-

fläche nicht mehr Platz findet. Auch ein Kompromiss mit bloss 10facher Überhöhung wird kein befriedigendes Resultat ergeben.

Wesentlich ist aber, dass von Anfang bis zu Ende das ganze Bündel von Wachstumskurven einen gleichartigen Verlauf zeigt. Suchen wir diesen durch eine mathematische Formel wiederzugeben und vernachlässigen wir dabei das Ende des Prozesses, das Umbiegen der Kurven zur Horizontalen, so bietet sich eine einfache Exponentialfunktion als gutes Schema dar (20; 3; 23).

$$y = y_0 \cdot e^{rt}$$

y = Länge zur Zeit t

y_0 = Anfangslänge zur Zeit $t=0$

$e = 2,71828$. Basis der natürlichen Logarithmen.

r = Intensitätsfaktor („relative Wachstumsgeschwindigkeit“).

Es wird durch diese Exponentialfunktion die Anschauung zum Ausdruck gebracht, dass die Wachstumsleistung, die Zunahme von y mit der Zeit t , in allererster Linie abhängig sei von der Menge wachsender Substanz, gleich wie der Zins abhängig ist von der Menge des zinstragenden Kapitals.

In der Figur 2 sind zwei solcher Exponentialkurven eingetragen, welche verschiedenen Werten der Konstanten y_0 und r entsprechen.

Figur 3 bringt dasselbe Tatsachenmaterial zur Darstellung wie Figur 2; es ist aber ein neuartiger Ordinatenmassstab gewählt worden. Seine Einführung beruht auf derselben Überlegung, welche zur Wahl der Exponentialkurve als Schema für die Wachstumskurven geführt hat.

Als Ordinate wird nicht mehr die Länge, sondern der Logarithmus der Länge abgetragen. Eine Ordinatendifferenz von bestimmter Grösse bedeutet nun nicht mehr eine Grössendifferenz, sondern ein Grössenverhältnis. Am links in der Figur aufgezeichneten mm-Massstab wird jeweils eine Zunahme der Länge auf das Doppelte, auf das Dreifache oder das Zehnfache durch eine bestimmte Strecke dargestellt; der Abstand von 0,1 bis 0,2 mm erscheint gleich dem Abstand von 0,2 bis 0,4 mm, oder von 1 bis 2 mm, oder von 100 bis 200 mm. Ebenso ist der Abstand von 0,1 bis 0,3 mm gleich dem Abstand von 3 bis 9 mm; ferner ist der Abstand von 0,1 bis 1 mm gleich dem Abstand von 10 auf 100 mm usw.

Als gleichwertiges Wachstum wird also nicht wie in Figur 2 eine Vergrösserung um gleichviel Millimeter, sondern eine Vergrösserung um gleiche Bruchteile der vorhandenen Grösse ein-

geschätzt; es werden nicht die absoluten, sondern die relativen Zuwächse dargestellt.

Das Resultat der veränderten Darstellungsweise ist eine grosse Vereinfachung des Kurvenbildes, das nun auch bequem auf einer Zeichnungsfläche sich unterbringen lässt. Uns interessiert noch, was bei der veränderten Darstellung aus der Grundform der Wachstumskurve, der Exponentialkurve wird.

$$y = y_0 \cdot e^{rt}$$

$$\log y = \log y_0 + r t \cdot \log e$$

In unserer „logarithmischen“ Darstellung der Wachstumskurven bedeuten aber $\log y$ die Ordinate und t die Abszisse; die Gleichung zwischen $\log y$ und t ist linear; die Exponentialkurven verwandeln sich in gerade Linien, wobei die Verschiedenheit des Intensitätsfaktors r sich in einer verschiedenen Neigung der Geraden ausdrückt.

Damit scheint mir die Einführung der neuen Darstellungsweise genügend gerechtfertigt. Sie macht alle komplizierten Umrechnungen entbehrlich und gibt auf den ersten Blick Auskunft über das Verhalten der wichtigsten Grösse, der relativen Wachstumsgeschwindigkeit. Die folgenden Kurven sind alle mit dem logarithmischen Ordinatenmassstab gezeichnet.

Ich weise noch kurz daraufhin, dass auch für variationsstatistische Darstellungen die Anwendung des logarithmischen Massstabes wertvoll sein kann (19, Seite 245—248).

III. Weitere Messungsmethoden.

Figur 12 zeigt 8 Längsschnitte durch Sprossspitzen von *Calycanthus* zu einem Zyklus geordnet. (Vergl. 21, Seite 35.) Wir sehen, wie in der kleinsten Anfangsfigur der Vegetationspunkt links und rechts ein Blatt abgliedert, wie später ein neues Blattpaar vorn und hinten hinzutritt und wie in der Schlussfigur der innerste Abschnitt, der Vegetationspunkt, beinahe wieder Grösse und Form der Anfangsfigur erreicht hat. Es ist also das Wachstum eines Zellkomplexes während der Dauer von 2 Plastochron oder während 12 Tagen dargestellt.

An 16 beliebig herausgegriffenen Knospenlängsschnitten wurden gemessen die Breite von Vegetationspunkt und Stengelgliedern [Strecken *AB* in Figur 12], ferner die Länge des Vegetationspunktes [Strecken *CD*], die Länge zweier aufeinanderfolgender Stengelglieder [Strecke *DE*] und die Blattlänge [Mittel aus *AF* und *BG*].

Aus den gemessenen Längen gewinnen wir Wachstumskurven [Figur 4] unter der Voraussetzung, dass die 16 Schnitte 16 Stadien aus dem Entwicklungsverlauf einer Idealknospe darstellen, so dass der Altersabstand zweier Stadien jeweils $\frac{1}{8}$ Plastochron ist. Da am selben Schnitt 2 bis 3 Blattlängen und 3 bis 4 Stengeldicken gemessen werden konnten, so enthält das Wachstumsschema Zahlen, die von 20 bis 56 gleichnamigen Organindividuen von 16 Sprossen desselben Strauches stammen. Dennoch kommt das typische Wachstumsbild klar zum Ausdruck und lässt sich gut von den Zickzackschwankungen unterscheiden.

Die Kurven beziehen sich auf dasselbe Material wie die Kurven von Fig. 3; in beiden Fällen zeigt sich übereinstimmend, dass das Längenwachstum von Stengelgliedern und Blättern wesentlich rascher vor sich geht als das Dickenwachstum des Stengels.

Bei Untersuchungen in der nähern Umgebung des Vegetationspunktes stösst man auf Schwierigkeiten in der Wahl der zu messenden Strecken und muss oft bei der Bestimmung derselben auf die Zellanordnung Rücksicht nehmen. Wie man dabei vorgehen kann, soll an Längsschnitten durch Knospen von *Lathyrus latifolius* erörtert werden.

In das Schnittbild (Fig. 9) sind als schwach ausgezogene Bogenlinien die Grenzen von Mark und Rinde eingetragen, die am Präparat scharf hervortreten. Dem Verlauf der Zellreihen folgend, wird dann als Schlangenlinie im Mark die Achse des Stengels eingezeichnet; ferner bezeichnen Linien, die von einer Blattachsel ausgehen und quer zu den Zellreihen den Stengel durchsetzen, die Grenzen der Internodien; von den Vorsprüngen des Markes aus laufen die Blattachsen. Es wurden gemessen als „Länge des Vegetationspunktes“ die Strecke *AB* und die daraus hervorgehenden Strecken *ABC*, *ABD*, als „Länge der Stengelglieder“ die Strecken *BC*, *CD*, *DE*, als Stengeldicke die Querschnitte durch *B*, *C*, *D*, *E* und als „Blattlänge“ die eingezeichneten Mittellinien der Blätter.

Die Methode ist mehr als die früher angegebenen mit Unsicherheiten behaftet und muss daher öfter wiederholt werden; Figur 9 zeigt neun Diagramme für Sprossspitzen von *Lathyrus*, die im einzelnen stark voneinander abweichen. Sie zeigen aber auch wesentliche Übereinstimmungen, in der die typische Wachstumsverteilung ihren Ausdruck findet.

Axenende und Stengelglieder wachsen ungefähr gleich rasch in die Länge; das Längenwachstum der Blätter ist intensiver, das Dickenwachstum des Stengels weniger intensiv.

IV. Messungsergebnisse an einigen Sprossknospen.

Zur Ergänzung des Materials gebe ich in Figur 5 Messungen an einem Spross von *Elodea densa* wieder, in Figur 6 Messungen an 20 Sprossen von *Mesembryanthemum caulesceus* (vergl. 21, Fig. 7), in Figur 7 und 8 Messungen an blütentragenden Sprossen von *Lathyrus latifolius*. Ferner benutze ich die Messungen ASKENASY'S, der aus den Zahlen die relative Wachstumsgeschwindigkeit berechnete und sie in seinen Kurven als Ordinaten darstellte.

a) **Längenwachstum des Stengels.** Als Typus eines Sprosses betrachtet man gerne denjenigen von *Elodea* oder anderer Wasserpflanzen, die ebenfalls lange schlanke Vegetationskegel aufweisen. Hier gilt über die Verteilung des Längenwachstums das folgende:

Der Vegetationspunkt selbst wächst rascher in die Länge als die jüngsten Internodien; das Längenwachstum hat ein erstes Maximum am Scheitel, ein Minimum in den jüngsten, eben vom Vegetationspunkt abgegliederten Stengelteilen, und ein zweites Maximum in den ältern Stengelgliedern, in der Zone des ausschliesslichen Streckungswachstums. Auf dieses Verhalten hat schon HOFMEISTER (10, Seite 421) hingewiesen; ASKENASY (2, Tafel 2 und 3) hat es festgestellt bei *Nitella flexilis*, *Myriophyllum verticillatum*, *Hippuris vulgaris*, *Elodea canadensis*, *Gabium Mollugo* und *Aristolochia Siphon*. NONWEILER (16) bestätigt es für *Chara strigosa*.

Die Regel gilt aber nicht für alle Axenorgane. Bei *Calycanthus* (Fig. 4), *Lathyrus* (Fig. 9) und *Mesembryanthemum* (Fig. 6) ist ein Unterschied zwischen Axenende und jüngsten Stengelgliedern nicht vorhanden. Ein Ansteigen der Wachstumsgeschwindigkeit in der Streckungszone ist bei *Calycanthus* (Fig. 3) und *Lathyrus* (Fig. 7) schwach angedeutet, bei *Mesembryanthemum* (Fig. 6) deutlich ausgeprägt.

Der Widerspruch mit den Angaben von SACHS, der ein scharf ausgeprägtes Minimum am Scheitel und ein scharf ausgeprägtes Maximum in der Streckungszone als Regel annimmt, rührt daher, dass SACHS meistens nicht den relativen, sondern den absoluten Zuwachs eines Gliedes als Mass der Wachstumsintensität annimmt.

b) **Längenwachstum des Blattes.** Die jungen Blätter wachsen in der Regel rascher als die jungen Stengelglieder. Dies ist deutlich für *Elodea* (Fig. 5), *Lathyrus* (Fig. 9) und *Mesembryanthemum* (Fig. 6); wenig ausgesprochen ist es für *Calycanthus* (Fig. 3, 4). Manchmal findet sich eine Zunahme des Längenwachstums in ältern Blättern (Fig. 5 u. 8); in andern Fällen fällt dieses Maximum weg und das Wachstum geht von Anfang bis zum Ende sehr gleichmässig vor sich (Fig. 3, 6). Wie *Calycanthus* und *Mesembryanthemum* verhält sich nach den Messungen VÖCHTING'S (29) auch *Linaria spuria*.

Nach Zahlen von KUIJPER (13, Seite 216, 218) wächst bei *Saccharum officinarum* die Blattscheide beträchtlich rascher als die Spreite; doch beginnt die Steigerung der relativen Wachstumsgeschwindigkeit in der Scheide erst dann, wenn die Spreite ihr Wachstum schon beinahe eingestellt hat. Auch innerhalb der Spreite und innerhalb der Scheide findet KUIJPER nach seiner Methode ein Vorausschreiten der obern Partien. Ähnliche Verteilung des Wachstums scheint häufig zu sein, ist aber wohl selten so scharf ausgeprägt wie bei den Gräsern.

c) **Breiten- und Dickenwachstum.** Die Kurven für das Breiten- und Dickenwachstum weichen bei den wenigen untersuchten Beispielen nur unbedeutend von der geraden Linie ab. Bei *Elodea* (Fig. 5) nimmt das Dickenwachstum beim Altern der Internodien zu.

Wichtig ist aber der Vergleich von Längen-, Breiten- und Dickenwachstum eines und desselben Organes; denn das Verhältnis dieser Wachstumsgrössen bedingt die Formveränderungen des Organs.

Ein Stengelglied von *Elodea* ist bei der Abgliederung vom Vegetationspunkt eine flache, kreisförmige Scheibe; es geht durch Überwiegen des Längenwachstums in einen Zylinder über, dessen Höhe gleich dem Durchmesser ist (Fig. 5). Das junge Stengelglied von *Lathyrus* ist eine rautenförmige Scheibe. Da Breite und Dicke gleich rasch wachsen, während das Längenwachstum überwiegt, entsteht ein Stab von unverändertem Querschnitt (Fig. 7); dasselbe gilt für den Blattstiel von *Lathyrus*, der im Querschnitt dreieckig ist (Fig. 8), und für das Stengelglied von *Calycanthus*, das im Querschnitt quadratisch ist (Fig. 3).

Wesentlich anders verhalten sich die Blattspreiten. Für die Fiederblätter von *Lathyrus* laufen die Kurven von Länge und Breite parallel (Fig. 8), ebenso bei *Calycanthus* (Fig. 3); die Umrissform des Blattes verändert sich also während des Wachstums nicht wesentlich. Das gilt nach FISCHER (8) auch für den

Schlussabschnitt des Blattwachstums bei *Aristolodia Siph.* Während des Wachstums wesentliche Veränderungen in der Blattform vorkommen, liegt wohl in der Regel verschiedene Wachstumsdauer in verschiedenen Teilen zugrunde.

Längen- und Breitenwachstum im Blatt lassen sich der Intensität nach mit dem Längenwachstum von Stengel und Blattstiel vergleichen (Fig. 3, 7 und 8); das Dickenwachstum des Blattes mit seiner viel geringeren Intensität entspricht dem Dickenwachstum der Stengelgebilde (Fig. 8).

d) **Massenwachstum.** Für die Formbildung entscheidend ist das Überwiegen des Längenwachstums in Stengelteilen und das Überwiegen des Flächenwachstums in den Blättern, also die Art, wie das neugebildete Material auf die verschiedenen Wachstumsrichtungen verteilt wird. Als Mass für die eigentliche Intensität des Wachstumsvorganges kommt aber vor allem der Massenzuwachs in Betracht.

Annähernd lässt sich dieser aus dem Volumen abschätzen. Folgen aber Länge, Breite und Dicke dem allgemeinen Exponentialgesetz, so muss das auch für ihr Produkt, für das Volumen gelten.

In vorbildlicher Weise hat ASKENASY (1) durch Messungen und Wägungen an Blütenknospen der *Kirsche* im Verlauf eines Jahres die Übereinstimmung im Verhalten von Längen- und Massenwachstum nachgewiesen.

Die zahlreichen Untersuchungen über das Gesamtgewicht der Pflanzen sollen hier nicht referiert werden; ich verweise auf die Literaturangaben bei WEST (4, 5 und 6), RIPPEL (17) und SCHÜEPP (23).

V. Begriff und Berechnung der Wachstumsgeschwindigkeit.

(Vergleiche zum ganzen Abschnitt No. 3 und 23 des Literaturverzeichnisses.)

In der Bewegungslehre verstehen wir unter Geschwindigkeit die Zunahme des Weges in der Zeiteinheit, genauer den Differentialquotienten des Weges nach der Zeit. Bei der Übertragung des Begriffes auf die Wachstumslehre bestehen zwei verschiedene Möglichkeiten, die Grössenveränderung zu bemessen, und daraus ergeben sich zwei verschiedene Begriffe der Wachstumsgeschwindigkeit.

Ist aus den Messungen der Zusammenhang zwischen der Grösse y und der Zeit t bekannt, so verstehe ich unter der absoluten Wachstumsgeschwindigkeit den Quotienten:

$$V_{\text{abs.}} = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1} \quad \text{oder genauer den Differentialquotienten } V_{\text{abs.}} = \frac{dy}{dt}$$

Der Begriff der absoluten Wachstumsgeschwindigkeit ist anzuwenden, wenn die Bewegung einer Wurzelspitze oder Stengelspitze im Raum verfolgt wird, z. B. mit Hilfe des Horizontalmikroskopes; in diesem Fall sind absolute Wachstumsgeschwindigkeit und Bewegungsgeschwindigkeit ein und dasselbe. Aber auch zur Einschätzung von Wachstumsleistungen wird man den Begriff anwenden, wenn nur eine kleine Wachstumszone von unveränderlicher Grösse an der Verlängerung des Organes arbeitet, wie es wiederum bei Wurzelspitzen der Fall ist.

Unter relativer Wachstumsgeschwindigkeit verstehe ich den Quotienten:

$$V_{\text{rel.}} = \frac{y_2 - y_1}{y_1 (t_2 - t_1)} \quad \text{oder genauer unter Einführung des Differentialquotienten} \quad \left\{ V_{\text{rel.}} = \frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dt} \right.$$

Der Zuwachs wird ständig auf die schon erreichte Grösse bezogen; das heisst, das Wachstum wird als Leistung der sich vermehrenden Substanz aufgefasst. Der Begriff der relativen Wachstumsgeschwindigkeit verdient also vom physiologischen Standpunkt aus unbedingt den Vorzug. Voraussetzung für seine Anwendung ist, dass das gemessene Stück in seiner ganzen Ausdehnung wachstumstätig sei.

Verwechslungen der beiden Wachstumsbegriffe sind unschädlich in den Fällen, wo das Gesamtwachstum relativ klein ist, wo die Gesamtverlängerung während der Untersuchung bloss 5 bis 10% der Anfangslänge beträgt. Das gilt zum Beispiel für die Untersuchungen über die Lichtwachstumsreaktion, wo praktisch absolute Geschwindigkeiten gemessen und theoretisch relative Geschwindigkeiten diskutiert werden.

Verwechslungen sind aber nicht zulässig bei entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen, wo Verlängerungen auf das Hundert- und Tausendfache der Anfangslänge vorkommen.

In bezug auf die praktische Berechnung der relativen Wachstumsgeschwindigkeit ist hervorzuheben, dass die Formel

$$V_{\text{rel.}} = \frac{y_2 - y_1}{y_1 (t_2 - t_1)}$$

nur verwendet werden darf, solange der Zuwachs $y_2 - y_1$ im Zeitintervall zwischen zwei Beobachtungen im Vergleich zur Grösse y_1 klein ist. Andernfalls ist sie zu ersetzen durch die Formel:

$$V_{\text{rel.}} = \frac{\log \text{ nat } y_2 - \log \text{ nat } y_1}{t_2 - t_1} = \frac{\log y_2 - \log y_1}{(t_2 - t_1) \log e}$$

Diese Formel entsteht aus der Voraussetzung, dass während des Intervalles zwischen zwei Beobachtungen das Wachstum genau nach dem Exponentialgesetz erfolge.

Zur Orientierung in der Literatur stelle ich einige Synonyme zusammen.

- 1) Absolute Wachstumsgeschwindigkeit.
„Zuwachsgrösse“ (BÜCHER 1901, p. 15).
- 2) Relative Wachstumsgeschwindigkeit.
 - a) Mittlere Geschwindigkeit innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls.
„Mittlere Wachstumsintensität“ (ASKENASY 1881, p. 78).
„Wachstumsschnelligkeit oder -geschwindigkeit“ (PFEFFER 1904, p. 18; BÜCHER 1901, p. 22).
„Substanzquotient“ (GRESSLER 1907).
„Relative growth rate“ (BRIGGS, KIDD AND WEST No. 6, 1920, p. 106).
 - b) Geschwindigkeit in einem bestimmten Augenblick:
„Wachstumsgeschwindigkeit“ (ASKENASY 1881, p. 80).
„Efficiency index“ (BLACKMAN 1919, p. 356).

Die Diskussion über die Gesetze des Wachstums dreht sich augenblicklich in der Hauptsache um die Wahl einer mathematisch bestimmten Kurve als Grundform der Wachstumskurven. Die Exponentialkurve $y = y_0 \cdot e^{rt}$ und die S-Kurve von ROBERTSON mit der Formel

$$\log \frac{y}{A-y} = K (t-t_1)$$

stehen im Vordergrund des Interesses. Beide ergeben bei passender Wahl der Konstanten eine gute Annäherung an die Wirklichkeit; aber auch die Formel von MITSCHERLICH

$$y = A (1 - e^{-cx})^n$$

gestattet eine grosse Annäherung an die Tatsachen.

Auf die theoretischen Grundlagen der verschiedenen Formeln will ich hier nicht zurückkommen. Wichtig ist aber, im

Auge zu behalten, dass niemals eine einfache Formel mit wenigen Konstanten das Wachstum eines Organs oder gar einer ganzen Pflanze vollständig wiedergeben kann. Es handelt sich immer um Annäherungen, und nachdem die Tatsache festgestellt worden ist, dass ein gemeinsamer Typus allen Wachstumskurven zugrunde liegt, entsteht die weitere Aufgabe, den Variationen im Wachstumsverlauf nachzuforschen.

Dies geschieht in einfachster Weise durch die logarithmische Darstellung der Wachstumskurven oder durch die Berechnung relativer Wachstumsgeschwindigkeiten.

VI. Die Wachstumsverteilung in Wurzelspitzen.

Die Wachstumsmessungen an Wurzelspitzen gehen aus von Zonen, die ursprünglich 1 mm lang sind und durch Tuschenmarken begrenzt werden. Im Unterschied von den Messungen an Stengeln mit Hilfe der natürlichen Internodiengrenzen ist zu beachten, dass diese mm-Zonen innerlich ungleichwertig sind. Die logarithmische Darstellung der Wachstumskurven lässt sich nicht anwenden; es müssen die relativen Wachstumsgeschwindigkeiten durch Rechnung bestimmt werden.

Ich benutze als Beispiele einige Messungen von SACHS und POPPOVICI, die auch bei JOST diskutiert werden (11, Seite 335, 336).

In der Formel

$$V_{\text{rel.}} = \frac{\log y_2 - \log y_1}{(t_2 - t_1) \log e}$$

wird für unsere Beispiele $y_1 = 1$ also $\log y_1 = 0$; $t_2 - t_1$ ist 22 oder 24 Stunden; $\log e$ ist = 0,4343. Der Nenner des Bruches ist somit nahezu gleich 10 (9,55 oder 10,42). Wir können die Formel vereinfachen zu

$$V_{\text{rel.}} = \frac{1}{10} \cdot \log l_2$$

und erhalten so die Wachstumsgeschwindigkeit in mm pro Stunde.

Wir finden

Vicia Faba. SACHS 1873. Zonen von der Initialzone ab gerechnet:
 $V_{\text{rel.}} = 0,03, 0,054, \mathbf{0,095}, 0,087, 0,065, 0,048, 0,026, 0,023, 0,02, 0,008.$

Vicia Faba. POPPOVICI 1900:
 $V_{\text{rel.}} = 0,03, 0,09, \mathbf{0,111}, 0,084, 0,069, 0,054, 0,04, 0,035, 0,03, 0,018, 0,013, 0,01.$

Pisum. SACHS 1873:
 $V_{\text{rel.}} = 0,018, 0,074, \mathbf{0,081}, 0,06, 0,04, 0,018, 0,011.$

Phaseolas. POPPOVICI 1900. Zonen von der Spitze der Wurzelhaube an gerechnet:

$V_{rel} = 0,03, \mathbf{0,123}, 0,09, 0,078, 0,06, 0,04, 0,03, 0,02, 0,013, 0,01, 0,01, 0,0$.

Wir stellen also fest, dass durch die genauere Berechnung unsere Vorstellungen über das Wachstum der Wurzelspitze nicht verändert werden. Das Maximum der relativen Wachstumsgeschwindigkeit liegt hinter dem Vegetationspunkt. Das Resultat ist für uns von Bedeutung im Zusammenhang mit den folgenden Feststellungen über die Zellvermehrung in der Wurzelspitze.

VII. Zählung der Kernteilungsfiguren in der Wurzelspitze.

Vergleiche Schüepp 1914, Lundegårdh 1914, Karsten 1915, Stälfelt 1919, 1920.

Es erscheint ohne weitere Überlegung als einleuchtend, dass die Prozentzahl von Teilungsfiguren unter den Kernen eines bestimmten einheitlichen Gewebes ein Mass für die Intensität der Zellvermehrung im Augenblick der Fixierung darstellt. Indem wir die genauere Diskussion des Zusammenhanges zwischen Häufigkeit der Teilungsfiguren- und Zellvermehrung auf später verschieben, beginnen wir damit, uns ein Bild von der Verteilung der Karyokinesen bei *Vicia Faba* zu schaffen, wie sie an drei benachbarten medianen Schnitten aus einer Mikrotomserie bestimmt wurde.

In einem kleinen Ausschnitt aus dem Untersuchungsprotokoll bedeuten *I* die Anzahl der Ruhestadien (Interphasen), *P* die Anzahl der Prophasen, *M + A* die Anzahl der Meta- und Anaphasen, % = Teilungsprozent das Verhältnis $\frac{(P+M+A) \cdot 100}{\text{Gesamtzahl}}$. Jede

Zeile bezieht sich auf das kreisförmige Gesichtsfeld der Ölimmersion. Das Präparat wurde in der Richtung der Zellreihen von Zählung zu Zählung um die Höhe eines Gesichtsfeldes verschoben; durch Kontrolle an Tuschemarken wurde die Lage des Gesichtsfeldes festgestellt:

| | I | P | M+A | |
|---|-----------|----------|----------|---------------|
| | 29 | 0 | 0 | |
| | 19 | 1 | 0 | |
| | 14 | 0 | 0 | |
| | 13 | 0 | 0 | |
| | 11 | 0 | 0 | |
| | 9 | 0 | 0 | |
| | 10 | 0 | 0 | |
| Haube 0-0,5 mm von der Spitze | 96 | 1 | 0 | 1,04 % |

| | | | | |
|--|-----------|-----------|----------|----------------|
| | 23 | 2 | 0 | |
| | 20 | 2 | 1 | |
| | 22 | 1 | 0 | |
| | 20 | 5 | 0 | |
| Initialzone 0,5–0,75 mm von der Spitze | 85 | 10 | 1 | 11,46 % |
| | 17 | 2 | 4 | |
| | 18 | 0 | 1 | |
| | 16 | 2 | 0 | |
| | 12 | 2 | 1 | |
| | 19 | 1 | 1 | |
| | 13 | 2 | 2 | |
| Plerom 0,75–1 mm von der Spitze | 95 | 9 | 9 | 15,93 % |

Neben einem Mittelstreifen im Plerom wurde, ausgehend von der Initialzone auch je ein Streifen links und rechts am Innenrande des Periblems untersucht.

Im folgenden gebe ich stark zusammengezogen die Zählungsergebnisse wieder.

| Gewebe | Ges.-zahl d. Kerne | Zahl der Teilungsfiguren | Teilungsprozent | Prozentzahlen aus der Zählung der Einzelschnitte | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|--------------------------|-----------------|--|------|------|------|------|------|--|
| Haube 0–0,5 mm | 180 | 1 | 0,6 | 0 | 0 | 1 | | | | |
| I.-Zone 0,5–0,75 " | 343 | 35 | 10,2 | 6,2 | 11,5 | 18,5 | | | | |
| Plerom 0,75–1 mm | 426 | 59 | 13,8 | 12,9 | 13,2 | 15,9 | | | | |
| 1 –1,25 " | 410 | 50 | 12,2 | 10,7 | 12,8 | 13,0 | | | | |
| 1,25–1,5 " | 366 | 39 | 10,7 | 7,5 | 10,4 | 13,8 | | | | |
| 1,5–1,75 " | 271 | 21 | 7,7 | 4,0 | 9,9 | 10,0 | | | | |
| 1,75–2 " | 239 | 3 | 1,3 | 0 | 2,7 | 2,8 | | | | |
| 2 –2,5 " | 258 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 2,5–3 " | 221 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 3 –3,5 " | 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Periblem 0,5 –0,75 mm | 765 | 120 | 15,7 | 8,7 | 12,9 | 14,3 | 14,8 | 20,9 | 23,3 | |
| 0,75–1 " | 800 | 171 | 21,4 | 18,1 | 19,5 | 20,2 | 21,2 | 24,5 | 24,8 | |
| 1 –1,25 " | 868 | 146 | 16,8 | 14,3 | 14,5 | 15,9 | 17,0 | 18,0 | 19,4 | |
| 1,25–1,5 " | 789 | 112 | 14,2 | 9,4 | 11,6 | 13,3 | 15,0 | 17,1 | 19,0 | |
| 1,5–1,75 " | 745 | 87 | 11,7 | 7,2 | 9,7 | 10,3 | 10,9 | 12,2 | 20,0 | |
| 1,75–2 " | 643 | 105 | 16,3 | 13,7 | 15,1 | 16,3 | 16,8 | 18,4 | 18,9 | |
| 2 –2,5 " | 664 | 87 | 13,1 | 10,4 | 10,9 | 11,0 | 12,6 | 16,6 | 18,1 | |
| 2,5–3 " | 808 | 74 | 12,1 | 7,6 | 10,5 | 10,9 | 14,1 | 15,8 | 16,5 | |
| 3 –3,5 " | 509 | 35 | 6,9 | 1,4 | 1,5 | 3,1 | 7,1 | 9,3 | 12,8 | |
| 3,5–4 " | 301 | 2 | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,9 | |

Protokollauszug und Tabelle zeigen übereinstimmend, dass das Merkmal „Kernteilungsprozent“ auch bei sorgfältigster Auswahl des Materials, auch in Nachbarabschnitten einer und derselben Wurzelspitze sehr stark variabel ist. Um zuverlässige Mittelwerte zu bekommen, muss jede Prozentzahl aus einer Summe

von ein paar Hundert Kernen berechnet werden; um aber die Zuverlässigkeit dieser Mittelwerte richtig einschätzen zu können, ist es auch nötig, für einen bestimmten Gewebekomplex mehrere Prozentzahlen zu bestimmen.

So ergibt sich aus dem Protokollauszug, dass in der Initialzone von 96 Kernen 11 in Teilung begriffen waren, dass also der Kernteilungsprozent $\frac{11}{96} \cdot 100 = 11,5$ beträgt. In den Nachbar-

schnitten ergaben sich für dasselbe Gebiete 6,2 und 18,5%. Aus der Gesamtsumme von 343 Kernen waren 35 Teilungsfiguren. Das Gesamtmittel 10,2% kann noch nicht allzu genau sein, da es sich aus den Zahlen 6,2%, 11,5% und 18,5% zusammensetzt.

Sichere Resultate der Zählung sind folgende: Die Maximalzahl des Kernteilungsprozente findet sich 0,25 bis 0,5 mm hinter der Initialzone; das Maximum des Längenwachstums ist noch bedeutend weiter von der Initialzone entfernt (2 bis 3 mm nach SACHS und POPPOVICI). Im Periblem sind die Teilungsfiguren häufiger als im Plerom.

Das letztere Resultat wurde auch durch Zählungen an einem Querschnitt 1 mm hinter dem Vegetationspunkt bestätigt.

| | Summe der Kerne | Teilungsfiguren | Teilungsprozent |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Äusseres Periblem | 107 | 4 | 3,7 |
| Inneres Periblem | 141 | 16 | 11,3 |
| Plerom | 47 | 5 | 10,6 |

Die Differenz im Verhalten von Plerom und Periblem ist mit den Verschiedenheiten der Zellform in Zusammenhang zu bringen. Um diese klarzulegen, wurden an den Längsschnitten in bestimmten Entfernungen von der Spitze je 10 Nachbarzellen gemessen.

Protokollausschnitt. Zellängen, mit Messokular gemessen.

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------------------|
| Haube 0,25 mm von der Spitze | 20 | 24 | 25 | 25 | 26 | 30 | 30 | 33 | 35 | 36 | Teilstriche des Mess- okulars |
| Initialzone 0,5 „ „ „ „ | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 11 | 12 | 12 | 13 | 13 | |
| Plerom 0,75 „ „ „ „ | 9 | 13 | 14 | 14 | 15 | 18 | 18 | 20 | 21 | 21 | |

In Figur 11 sind für Plerom und Periblem sowohl die durchschnittlichen Zellängen als auch die Teilungsprozente dargestellt. Es ergibt sich, dass im Zusammenhang mit der intensiveren Teilung die Zellängen im Periblem klein bleiben, bis zu einer Entfernung von 3 mm von der Spitze, wo die Zellteilung auch im Periblem erlischt.

Meine Resultate stimmen gut überein mit denjenigen, die STÄLFELT ebenfalls an *Vicia Faba* gewonnen hat (25, Seite 36).

Besondere Versuche wurden angestellt, um den Schluss aus den Teilungsprozenten auf die Teilungsgeschwindigkeit experimentell zu bestätigen. Eine Versuchsserie, bei der verschiedene Wachstumsgeschwindigkeiten durch verschiedene Temperaturen erzielt wurden, ergab in bezug auf die Häufigkeit der Teilungsfiguren ein völlig negatives Resultat.

Serie A umfasste 12 Wurzeln, die in Sägemehl bei einer fast konstanten Temperatur von 15° keimten und wuchsen. Bei einer Gesamtlänge von 15 bis 39 mm betrug das Wachstum vom 20. V. 1919 4.15 abends bis 21. V. 1919 9.45 morgens:

4 4,5 6 6 6 8 8 9 9 9 9 9 mm.

Das ergibt ein Mittel von 7,4 mm in 17,5 Stunden oder

$0,42 \pm 0,03$ mm pro Stunde.

Die Serie B keimte in Sägemehl von 28°, wurde bei einer Lufttemperatur von 20° am 20. V. 1919 5 abends markiert, gelangte 5.15 ins Sägemehl zurück und wurde am andern Morgen 8.15 fixiert. Die Temperatur im Sägemehl hielt sich zwischen 27 und 28°. Die Zuwächse waren:

15 15,5 16 18 19 21 24 mm,

im Mittel 18,4 mm in 15 Stunden oder

$1,22 \pm 0,08$ mm pro Stunde.

Zur Vergleichung der Kernteilungsprozente zählte ich die Stellen unmittelbar hinter der Mitte der Initialzone und erhielt:

Serie A, 11 Präparate,

1035 Teilungsfiguren unter 9414 Kernen, Mittel $11,3 \pm 0,7\%$

Einzelne Prozentzahlen:

7 9,4 9 7 9,9 9,9 10,4 10,8 13,0 14,0 14,7 15,4

Serie B, 7 Präparate,

529 Teilungsfiguren unter 5495 Kernen, Mittel $9,2 \pm 1,3\%$

Einzelne Prozentzahlen:

3,1 5,05 9,3 10,3 11,6 12,2 12,9

Während also beide Serien im Längenwachstum unzweifelhafte grosse Differenzen aufweisen, ergibt sich, nach variationsstatischer Methode beurteilt, keine sichere Differenz zwischen den Teilungsprozenten, eher sogar eine kleine Bevorzugung der langsamer gewachsenen Serie A.

Das Resultat ist auffällig, scheint aber erklärlich, sobald man genauer überlegt, was eigentlich durch den Kernteilungsprozent gemessen wird. Es ist das Verhältnis zwischen der Zeit, welche eine einzelne Kernteilung in Anspruch nimmt, und der Zeit, die verfließt vom Beginn einer Teilung bis zum Beginn der folgenden Teilung. Je länger in diesem Zyklus eine einzelne Phase dauert, desto häufiger muss sie gefunden werden, wenn man durch plötzliches Fixieren eine Stichprobe vernimmt. Über die Gesamtdauer des Zyklus erhalten wir keine Auskunft.

Beschleunigt eine Temperaturerhöhung den Ablauf der Teilung im gleichen Masse wie die Prozesse, die sich zwischen den Teilungen abspielen, dann wird die Zeitdauer der Teilung im selben Masse verkürzt wie die Ruheperiode, und dann bleibt die Temperatur ohne Einfluss auf das Bild der fixierten Wurzelspitze.

Positive Resultate ergab ein Versuch mit verschiedener Sauerstoffversorgung der Wurzeln. Samen von *Vicia Faba* keimten in Sägemehl bei 19°. Nach dem Anbringen von Tuschemarken brachte ich die Keimpflanzen in eine Cuvette mit Wasser von der Temperatur 19°. Bei einer ersten Gruppe tauchten nur die Wurzelspitzen ins Wasser; bei einer zweiten Gruppe tauchten auch die Kotyledonen teilweise ins Wasser, und bei einer dritten Gruppe waren die ganzen Kotyledonen samt den jungen Sprossen ins Wasser versenkt. Das Untertauchen bewirkte starke Wachstumshemmungen. In der ersten Gruppe betrug der Zuwachs innert 24 Stunden 18,5, 19 und 21,5 mm, in der zweiten 2,5, 3 und 8 mm, in der dritten 1, 1, 1 und 1,5 mm. Die Auszählung der Mikrotomschnitte ergab folgendes Resultat.

| Gewebe | Serie I | | | Serie II | | | Serie III | | |
|-----------------------------|---------|-----------|-----|----------|-----------|-----|-----------|-----------|-----|
| | Kerne | Teilungen | % | Kerne | Teilungen | % | Kerne | Teilungen | % |
| Plerom 0,5 -0,75 mm v.d.Sp. | 943 | 53 | 5,6 | 689 | 23 | 3,3 | 842 | 15 | 1,8 |
| „ 0,75-1 „ „ „ „ | 931 | 79 | 8,5 | 607 | 34 | 5,6 | 796 | 12 | 1,5 |
| „ 1 -1,25 „ „ „ „ | 829 | 69 | 8,3 | 615 | 18 | 2,9 | 735 | 22 | 3,0 |
| „ 1,25-1,5 „ „ „ „ | 755 | 54 | 7,2 | 556 | 16 | 2,9 | 718 | 9 | 1,3 |

Serie I mit dem grössten direkt gemessenen Zuwachs zeigt auch die grösste Prozentzahl von Teilungsfiguren. Es können also Differenzen von Wachstumsgeschwindigkeiten, die nicht einfach durch die Temperatur bedingt sind, durch die Zählungsmethode aufgefunden werden.

Dass auch ein sorgfältig ausgesuchtes Material eine starke Variabilität aufweist, geht aus den Untersuchungen von STÄLFELT (25) hervor. Sie stellen sich allen experimentellen Prüfungen als grosses Hindernis entgegen, so dass es nötig ist, in allgemein bekannten und immer wieder nachzuprüfenden Tatsachen eine breitere Basis für unsere Schlüsse zu suchen.

In den Meristemen ruhender Samen und Knospen fehlen die Teilungsfiguren vollständig. In wachsenden Meristemen sind die Teilungsfiguren da häufig, wo wir auf Grund der Zellanordnung reichliche Zellvermehrung voraussetzen müssen; sie fehlen in der Zone des Streckungswachstums.

Stellt also eine variationsstatistische Untersuchung an einem grössern Material sichere Differenzen des Kernteilungsprozentes zwischen zwei Geweben fest, so sind wir berechtigt, auf eine entsprechende Differenz der Vermehrungsgeschwindigkeit der Zellen zu schliessen; wir dürfen aber nicht etwa Kernteilungsprozent und Vermehrungsgeschwindigkeit als direkt proportional betrachten.

Theoretisch werden wir uns diese Beziehung so zurechtlegen, dass die Interphase, während welcher die Baustoffe für den Kern vorbereitet und angehäuft werden, bei verschiedenen Wachstumsbedingungen sehr verschiedene Zeitdauer beansprucht, während die Teilungsphase, während welcher die Bewegungsvorgänge das Bild beherrschen, mit gleichmässiger Geschwindigkeit abläuft, sobald die innern Bedingungen sich bis zu einem gewissen Punkte entwickelt haben. Je weniger Zeit aber die Interphase beansprucht, desto rascher werden die Teilungen aufeinander folgen und desto häufiger werden die Teilungsfiguren im mikroskopischen Bilde sein.

VIII. Kernteilungszählungen in Sprossknospen.

Wir haben erkannt, dass die Kernteilungszählungen nur Wert beanspruchen können, wenn sie nach variationsstatistischen Methoden vorgenommen werden. Es gilt hier dieselbe Forderung, die TRÖNDLE (28) für die Reizphysiologie aufgestellt hat. Wie man bei der Kernteilungszählung im einzelnen vorgehen kann, soll im Folgenden an einem Beispiel dargestellt werden.

Zur Illustration der Methode gebe ich zunächst einen kleinen Ausschnitt aus dem Untersuchungsprotokoll.

Vicia Faba. Präparat No. 1. Untersuchtes Gewebe: Sprossvegetationspunkt.

| Gewebeschicht | Dermatogen | | | | Periblem | | | | Plerom | | | | Summe |
|------------------------------|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Schnittnummer | | | | | | | | | | | | | |
| Zahl der Interphasen . | 11 | 12 | 10 | 12 | 15 | 12 | 12 | 10 | 27 | 23 | 25 | 23 | 192 |
| „ „ Prophasen . | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 25 |
| Z. d. Meta- u. Anaphasen | 2 | 0 | 2 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 4 | 3 | 4 | 0 | 22 |
| Gesamtzahl der Kerne . | 59 | | | | 61 | | | | 119 | | | | 239 |
| Zahl d. Teilungsfiguren . | 14 | | | | 12 | | | | 21 | | | | 47 |
| Kernteilungsprozent . | 23,7 | | | | 19,6 | | | | 17,7 | | | | 19,6 |

Das Merkmal, das untersucht wird, heisst „Kernteilungsprozent“. Um für dieses Merkmal zuverlässige Zahlen zu bekommen, dürfen nur Zahlen zusammengezogen werden, die sich auf ein Gewebestück mit einheitlichem, morphologischem und physiologischem Charakter beziehen. Damit dennoch genügend grosse Zahlen erhalten werden, um die Berechnung von Mittelwerten zu erlauben, müssen in der Regel die Zählungen aus ein paar Nachbarschnitten addiert werden. Ich wählte die Teilstücke so, dass jede in den Tabellen angeführte Prozentzahl aus einer Bestimmung an mindestens 50 bis 100 Kernen gewonnen wurde. Darüber hinaus ist aber auch nötig, für jede Gewebeart zahlreiche solche Prozentzahlen zu bestimmen und die Resultate statistisch zu verarbeiten.

Die Zählungsergebnisse für Sprossvegetationspunkte, Blütenstandsvegetationspunkte, Blütenvegetationspunkt, Teile junger Blütenanlagen und für die verschiedenen Gewebe einer jungen Blütenstandsaxe von *Lathyrus latifolius* sind in Tabelle Seite 60 bis 62 zusammengefasst. Sie stammen alle von wenigen Mikrotomserien und von gleichzeitig fixiertem Material einer einzigen Pflanze her.

Eine bessere Übersicht geben die Mittelwerte mit ihren mittleren Fehlern. Sie sind in folgender Weise berechnet:

Verschiedene Teilzählungen gaben für die Prozentzahlen in Sprossvegetationspunkten die Werte 10,5 11,0 11,3 12,0 12,1 13,3 13,4 14 16,5 19,7 und 25,6 %. Die Summe aller Teilzählungen ergab auf 2547 Kerne 372 Teilungsfiguren, also die Prozentzahl

$$\frac{372 \cdot 100}{2547} = 14,6 \%$$

Aus den Abweichungen der Einzelwerte von 14,6 wurde nach bekannten Methoden der mittlere Fehler berechnet und danach die Zuverlässigkeit des Mittelwertes abgeschätzt. Das Resultat erhält dann die Form: (Seite 63, oben)

Lathyrus latifolius. Häufigkeit der Kernteilungsfiguren. Verhältnis: Teilungszahl zu Gesamtzahl der Kerne.

| Organ | Dermatogen | | Periblem | | Plerom | | Total d. Schichten | | |
|---|---|----------|------------|----------|------------|----------|--------------------|----------|-------|
| | Verhältnis | % | Verhältnis | % | Verhältnis | % | Verhältnis | % | |
| Junge Blüten. Organe, die aus vacuolenfreien Zellen bestehen. Teile einer Blüte | Med. Kelchbl. | 7:83 | 8,4 | 5:71 | 7,0 | 11:90 | 12,2 | 23:244 | 9,4 |
| | Staubgef. und Stempel | 5:82 | 6,1 | 12:87 | 13,8 | 16:136 | 12,0 | 33:305 | 10,8 |
| | " " " | 5:65 | 7,7 | 6:67 | 9,0 | 12:96 | 12,5 | 23:228 | 10,3 |
| | " Kelch " | 8:71 | 11,3 | 4:52 | 7,7 | 11:71 | 15,4 | 23:194 | 11,9 |
| | Staubgefäß | 5:61 | 8,2 | 6:72 | 8,3 | 11:108 | 10,2 | 22:241 | 9,0 |
| | Stempel | 8:93 | 8,6 | 8:91 | 8,8 | 13:131 | 9,9 | 29:315 | 9,2 |
| | Fahne m. Staubgefäß | 7:54 | 13,0 | 7:68 | 10,3 | 7:87 | 8,0 | 21:209 | 10,0 |
| | Kelch | 7:90 | 7,8 | 6:57 | 10,5 | 9:76 | 11,8 | 22:223 | 9,9 |
| | Fahne m. Staubgefäß | 7:54 | 13,0 | 7:75 | 9,3 | 10:111 | 9,0 | 24:240 | 10,0 |
| | Stempel | 5:102 | 4,9 | 10:119 | 8,4 | 12:124 | 9,7 | 27:345 | 7,8 |
| | Staubgefäß | 6:67 | 9,0 | 4:82 | 4,9 | 13:114 | 11,4 | 23:263 | 8,7 |
| | Fahne m. Staubgefäß | 10:72 | 13,9 | 6:88 | 6,8 | 12:115 | 10,4 | 28:275 | 10,2 |
| | Stempel | 8:112 | 7,1 | 17:128 | 13,3 | 18:163 | 11,0 | 43:403 | 10,7 |
| | Staubgefäß | 8:86 | 9,3 | 5:97 | 5,2 | 7:109 | 6,4 | 20:292 | 7,0 |
| | Flügel m. Staubgefäß | 5:61 | 8,2 | 9:72 | 12,5 | 16:111 | 14,4 | 30:244 | 12,3 |
| | Stempel | 11:97 | 11,6 | 13:113 | 11,5 | 17:142 | 12,0 | 41:352 | 11,7 |
| | Flügel m. Staubgefäß | 7:63 | 11,1 | 8:86 | 9,3 | 10:125 | 8,0 | 25:274 | 9,1 |
| | Kronblatt | 11:78 | 14,1 | 10:73 | 13,7 | 4:65 | 6,2 | 25:216 | 11,6 |
| | Staubgefäß | 6:59 | 10,2 | 7:63 | 11,1 | 7:85 | 8,2 | 20:207 | 9,7 |
| | Placanta | 7:69 | 10,1 | 8:72 | 11,1 | 17:60 | 28,3 | 32:201 | 15,9 |
| | Staubgefäß | 9:76 | 11,8 | 18:74 | 24,3 | 11:79 | 13,9 | 38:229 | 16,6 |
| | Staubgefäß | 3:63 | 4,8 | 8:69 | 11,6 | 6:70 | 8,6 | 17:202 | 8,4 |
| | Stempel | 8:68 | 11,8 | 6:73 | 8,2 | 8:87 | 9,2 | 22:228 | 9,7 |
| | Fahne m. Staubgefäß | 8:64 | 12,5 | 7:66 | 10,6 | 7:82 | 8,5 | 22:212 | 10,4 |
| | Fahne m. Staubgefäß | 8:69 | 11,6 | 7:66 | 10,6 | 4:76 | 5,3 | 19:211 | 9,0 |
| | Stempel | 9:77 | 11,7 | 11:82 | 13,4 | 8:73 | 11,0 | 28:232 | 12,1 |
| | Staubgefäß | 4:67 | 6,0 | 9:64 | 14,1 | 10:66 | 15,2 | 23:197 | 11,7 |
| | Summe d. vacuolenfreien Teile junger Blüten | 192:2003 | 9,59 | 224:2127 | 10,53 | 287:2652 | 10,83 | 703:6782 | 10,37 |
| Junge Blüten. Organe mit vacuolenführenden Zellen. | Kelch | 9:128 | 7,0 | 11:80 | 13,8 | 8:49 | 16,3 | 28:257 | 10,9 |
| | " | 7:89 | 7,9 | 6:66 | 9,1 | 10:81 | 12,3 | 23:236 | 9,7 |
| | Kelch | 15:114 | 13,2 | 13:78 | 16,7 | 3:50 | 6,0 | 31:242 | 12,8 |
| | Kelch | 7:105 | 6,7 | 4:66 | 6,1 | 4:69 | 5,8 | 15:240 | 6,3 |
| | " | 11:131 | 8,4 | 3:76 | 3,9 | 1:50 | 2,0 | 15:257 | 5,8 |
| | Kelch | 9:93 | 9,7 | 4:61 | 6,6 | 7:73 | 9,6 | 20:227 | 8,8 |
| | " | 11:93 | 11,8 | 12:58 | 20,7 | 11:79 | 13,9 | 34:230 | 14,8 |
| | Kelch | 11:84 | 13,1 | 9:69 | 13,0 | 9:66 | 13,6 | 29:219 | 13,2 |
| | " | 7:69 | 10,1 | 7:67 | 10,4 | 7:66 | 10,6 | 21:202 | 10,4 |
| | Stempel | 11:79 | 13,9 | 7:65 | 10,8 | 8:70 | 11,4 | 26:214 | 12,2 |
| | Kelch | 5:78 | 6,4 | 8:60 | 13,3 | 15:93 | 16,1 | 28:231 | 12,1 |
| | " | 9:78 | 11,5 | 8:66 | 12,1 | 6:64 | 9,4 | 23:208 | 11,1 |
| | Kelch | 8:78 | 10,3 | 7:70 | 10,0 | 5:61 | 8,2 | 20:209 | 9,6 |
| " | 8:65 | 12,3 | 9:63 | 14,3 | 5:63 | 7,9 | 22:191 | 11,5 | |
| Summe d. vacuolenführend. Gewebe j. Blüten | 128:1284 | 9,97 | 108:945 | 11,43 | 99:934 | 10,60 | 335:3163 | 10,59 | |
| Total aller Organe junger Blüten | 320:3287 | 9,73 | 332:3072 | 10,81 | 386:3586 | 10,76 | 1038:9945 | 10,44 | |

Lathyrus latifolius. Häufigkeit der Kernteilungsfiguren. Verhältnis: Teilungszahl zu Gesamtzahl der Kerne.

| Organ | Dermatogen | | Periblem | | Plerom | | Total d. Schichten | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----------|------------|----------|------------|----------|--------------------|----------|-------|
| | Verhältnis | % | Verhältnis | % | Verhältnis | % | Verhältnis | % | |
| Sprossvegetationspunkte | 14:59 | 23,7 | 12:61 | 19,7 | 21:119 | 17,6 | 47:239 | 19,7 | |
| | 20:56 | 35,7 | 8:70 | 11,4 | 33:112 | 29,5 | 61:238 | 25,6 | |
| | 9:69 | 13,0 | 8:67 | 11,9 | 11:95 | 11,6 | 2:231 | 12,1 | |
| | 13:73 | 17,8 | 16:98 | 16,3 | 15:96 | 15,6 | 44:267 | 16,5 | |
| | 2:64 | 3,1 | 7:68 | 10,3 | 15:80 | 18,8 | 24:212 | 11,3 | |
| | 6:63 | 9,5 | 10:62 | 20,3 | 14:89 | 15,7 | 30:214 | 14,0 | |
| | 11:78 | 14,1 | 7:82 | 8,5 | 14:78 | 17,9 | 32:238 | 13,4 | |
| | 6:79 | 7,6 | 7:87 | 8,0 | 12:73 | 16,4 | 25:239 | 10,5 | |
| | 12:78 | 15,4 | 9:81 | 11,1 | 10:99 | 10,0 | 31:258 | 12,0 | |
| | 8:65 | 12,3 | 14:71 | 19,7 | 6:75 | 8,0 | 28:211 | 13,3 | |
| | 3:67 | 4,5 | 9:70 | 12,9 | 10:63 | 16,3 | 22:200 | 11,0 | |
| | Total der Sprossvegetationspunkte | 104:751 | 13,85 | 107:817 | 13,10 | 161:979 | 16,45 | 372:2547 | 14,60 |
| | Blütenstandsvegetationspunkte | 15:78 | 19,2 | 12:88 | 13,6 | 35:172 | 20,4 | 62:338 | 18,3 |
| 16:85 | | 18,8 | 14:90 | 15,6 | 28:138 | 20,3 | 58:313 | 18,5 | |
| 7:91 | | 7,7 | 14:99 | 14,1 | 17:133 | 12,8 | 38:323 | 11,8 | |
| 14:78 | | 17,9 | 10:86 | 11,6 | 23:151 | 15,2 | 47:315 | 14,9 | |
| 10:77 | | 13,0 | 19:84 | 22,6 | 28:122 | 23,0 | 57:283 | 20,1 | |
| 5:57 | | 8,8 | 15:83 | 18,1 | 11:78 | 14,1 | 31:218 | 14,2 | |
| 6:82 | | 7,3 | 8:71 | 11,3 | 10:89 | 11,2 | 24:242 | 9,9 | |
| 4:70 | | 5,8 | 15:88 | 17,1 | 13:80 | 16,2 | 32:238 | 13,4 | |
| 5:72 | | 6,9 | 10:75 | 16,8 | 18:98 | 18,4 | 33:245 | 13,4 | |
| 4:57 | | 7,0 | 7:64 | 10,9 | 16:87 | 18,4 | 27:208 | 13,0 | |
| Tot. d. Blütenstandsvegetationspunkte | | 86:747 | 11,51 | 124:828 | 13,10 | 199:1148 | 17,34 | 409:2723 | 15,02 |
| Blütenvegetationspunkte | | 9:53 | 17,0 | 11:68 | 16,2 | 20:114 | 17,5 | 40:235 | 17,0 |
| | 9:100 | 9,0 | 7:97 | 7,2 | 25:131 | 19,1 | 41:328 | 12,5 | |
| | 12:92 | 13,1 | 18:90 | 20,0 | 18:118 | 15,3 | 48:300 | 16,0 | |
| | 19:94 | 20,2 | 22:87 | 25,3 | 24:131 | 18,3 | 65:312 | 20,8 | |
| | 14:76 | 18,4 | 11:69 | 15,9 | 19:103 | 18,5 | 44:248 | 17,7 | |
| | 14:71 | 19,7 | 16:77 | 26,2 | 17:133 | 12,8 | 47:281 | 16,7 | |
| | 4:56 | 7,1 | 11:57 | 19,7 | 11:84 | 13,1 | 26:197 | 13,2 | |
| | 5:72 | 6,9 | 17:76 | 22,4 | 9:98 | 9,2 | 31:246 | 12,6 | |
| | 12:81 | 14,8 | 7:84 | 8,3 | 17:125 | 13,6 | 36:290 | 12,4 | |
| | 12:82 | 14,6 | 13:80 | 16,2 | 22:148 | 14,9 | 47:310 | 15,2 | |
| | 11:83 | 13,3 | 20:95 | 21,1 | 22:166 | 13,3 | 53:344 | 15,4 | |
| | 11:60 | 18,3 | 8:61 | 13,1 | 16:93 | 17,2 | 35:214 | 16,4 | |
| | 9:66 | 13,7 | 13:70 | 18,6 | 10:126 | 7,9 | 32:262 | 12,2 | |
| | 7:72 | 9,7 | 11:80 | 13,8 | 14:74 | 18,9 | 32:226 | 14,2 | |
| | Total der Blütenvegetationspunkte | 148:1058 | 13,99 | 185:1091 | 16,96 | 244:1644 | 14,84 | 577:3793 | 15,22 |
| Total aller Vegetationspunkte | 338:2556 | 13,23 | 416:2736 | 15,21 | 604:3771 | 16,02 | 1358:9063 | 14,98 | |

Lathyrus latifolius. Häufigkeit der Kernteilungsfiguren. Verhältnis: Teilungszahl zu Gesamtzahl der Kerne.

| Organ | Epidermis | | Rinde | | Mark | | Procambium | |
|--|------------|------|------------|------|------------|-------|------------|------|
| | Verhältnis | % | Verhältnis | % | Verhältnis | % | Verhältnis | % |
| Eine junge Blütenstandsaxe. Zellen mit Vacuolen, Procambiumstränge deutlich differenziert. | 1:61 | 1,6 | 3:95 | 3,2 | 2:68 | 2,9 | 8:75 | 10,7 |
| | 5:63 | 7,9 | 2:83 | 2,4 | 4:67 | 6,0 | 7:93 | 7,5 |
| | 0:53 | 0,0 | 3:69 | 4,3 | 4:79 | 5,1 | 10:95 | 10,5 |
| | 1:57 | 1,8 | 1:54 | 1,9 | 1:52 | 1,9 | 9:82 | 11,0 |
| | 0:72 | 0,0 | 4:67 | 7,5 | 5:62 | 8,1 | 11:94 | 11,7 |
| | 2:64 | 3,1 | 2:65 | 3,1 | 4:64 | 7,8 | 6:70 | 8,6 |
| | 2:66 | 3,0 | 5:72 | 6,9 | 4:62 | 6,5 | 5:62 | 8,1 |
| | 0:57 | 0,0 | 3:70 | 4,3 | 1:59 | 1,7 | 8:51 | 15,7 |
| | 0:51 | 0,0 | 5:60 | 8,3 | 4:50 | 8,0 | 8:63 | 12,7 |
| | 1:66 | 1,5 | 1:62 | 1,6 | 5:69 | 7,2 | 10:82 | 12,3 |
| | 1:66 | 1,5 | 5:62 | 8,1 | 7:77 | 9,1 | 2:59 | 3,4 |
| | 1:62 | 1,6 | 4:88 | 4,5 | 4:63 | 6,3 | 7:75 | 9,6 |
| | 1:60 | 1,7 | 2:71 | 2,8 | 3:72 | 4,2 | 5:65 | 7,5 |
| | 2:73 | 2,8 | 3:71 | 4,2 | 5:68 | 7,4 | 5:65 | 7,5 |
| | 2:67 | 3,0 | 4:81 | 4,9 | 2:68 | 2,9 | 7:58 | 12,1 |
| | 0:69 | 0,0 | 4:82 | 4,9 | 5:69 | 7,4 | 5:69 | 7,2 |
| | 1:64 | 1,6 | 3:63 | 4,8 | 8:86 | 9,3 | 7:81 | 8,7 |
| | 3:61 | 4,9 | 1:89 | 1,1 | 4:67 | 6,0 | 3:76 | 3,9 |
| | 3:62 | 4,8 | 2:73 | 2,7 | 9:72 | 12,5 | 4:67 | 6,0 |
| | 1:64 | 1,6 | 4:79 | 5,1 | 5:75 | 6,7 | 12:63 | 19,1 |
| | | | | | | | 5:63 | 7,9 |
| | | | | | | | 11:84 | 13,1 |
| | | | | | | | 4:63 | 6,4 |
| | | | | | | | 4:65 | 6,2 |
| | | | | | | | 7:91 | 7,7 |
| | | | | | | | 3:78 | 3,8 |
| | | | | | | | 7:80 | 8,7 |
| | | | | | | 8:89 | 9,0 | |
| | | | | | | 5:70 | 7,1 | |
| | | | | | | 4:70 | 5,7 | |
| | | | | | | 8:68 | 11,8 | |
| | | | | | | 10:78 | 12,8 | |
| | | | | | | 7:76 | 9,2 | |
| | | | | | | 9:77 | 11,7 | |
| | | | | | | 8:73 | 11,0 | |
| Junge Blütenstandsaxe Summe | 27:1258 | 2,15 | 61:1456 | 4,19 | 86:1349 | 6,38 | 239:2568 | 9,31 |

Der Teilungsprozent für Sprossvegetationspunkte ist
 $14,6\% \pm 1,26$.

Die Resultate aller Zählungen lassen sich nun kurz zusammenfassen.

Prozentzahl der Teilungsfiguren.

| Art der Gewebe | Mittelwerte | Bemerkungen |
|---|------------------|--|
| Sprossvegetationspunkte (20 Seite 334) | | Die Prophasen sind hier nicht als Teilungsfiguren gezählt. Die Kernteilungsprozente sind darum im Vergleich mit den andern Zählungen zu klein. |
| Dermatogen . . . | 8,49 | |
| Periblem + Plerom | 8,14 | |
| Total d. Schichten | $8,22 \pm 0,44$ | |
| Vegetationspunkte | | Es lassen sich keine Differenzen zwischen den einzelnen Schichten mit Sicherheit nachweisen. |
| Dermatogen . . . | $13,23 \pm 1,08$ | |
| Periblem | 15,21 | |
| Plerom | 16,02 | |
| Total d. Schichten | $14,98 \pm 0,55$ | |
| Junge Blüten . . | | Eine Differenz der Schichten ist nicht nachzuweisen. Die Differenz zwischen Vegetationspunkten und jungen Blüten, $14,98 - 10,44 = 4,54$ übersteigt die Fehlergrenze und ist als sicher zu betrachten. |
| Dermatogen . . . | 9,73 | |
| Periblem | 10,81 | |
| Plerom | 10,76 | |
| Total d. Schichten | $10,44 \pm 0,35$ | |
| Blütenstandsaxe | | Ein Abnehmen der Teilungshäufigkeit vom Procambium bis zur Epidermis ist sicher nachgewiesen. |
| Procambium . . . | $9,31 \pm 0,57$ | |
| Mark | $6,38 \pm 0,58$ | |
| Rinde | $4,19 \pm 0,46$ | |
| Epidermis | $2,15 \pm 0,43$ | |

Eine übersichtliche Zusammenfassung der Resultate geben auch die Variationskurven in Figur 10. Die einzelnen Prozentzahlen wurden zu diesem Zwecke in Klassen mit einem Umfang von 2% eingeteilt. Sie zeigen wiederum, dass sich in den jungen Blütenstandsaxen die einzelnen Gewebe deutlich verschieden verhalten, dass aber in jungen Blüten und in Vegetationspunkten die Schichten sehr nahe miteinander übereinstimmen.

Die Gleichheit in der Wachstumsintensität der verschiedenen Schichten ist ein wichtiges positives Resultat für die Charakterisierung des Wachstums im Vegetationspunkt (22, Seite 851—855). Differenzen zwischen Vegetationspunkt und den unmittelbar aus ihm hervorgehenden jüngsten Blättern konnten bis jetzt nicht nachgewiesen werden. Sind sie vorhanden, so müssen sie sehr klein sein. Hier ist unser Resultat negativ und sagt, dass für die

Formbildung am Vegetationspunkt Differenzen der Wachstumsrichtung sicher eine viel wichtigere Rolle spielen als Differenzen der Wachstumsintensität.

IX. Zur Theorie des Wachstums.

(Vergleiche No. 23 des Literaturverzeichnisses; auf die dort besprochenen Arbeiten komme ich im folgenden nicht mehr zurück).

Die meisten neueren Arbeiten über das Wachstumsgesetz beschäftigen sich mit dem Gesamtwachstum, namentlich mit der Gewichtszunahme der Pflanze. Hier haben G. BRIGGS, FR. KIDD und CYRIL WEST (4, 5 und 6) wichtige Fortschritte gemacht, indem sie die Veränderungen der relativen Wachstumsgeschwindigkeiten während der gesamten Lebensdauer einjähriger Pflanzen verfolgten. Es zeigt sich, dass diese mit der Grösse der assimilierenden Blattflächen, aber auch mit morphologischen Veränderungen, zum Beispiel der Blütenbildung, zusammenhängen.

Demgegenüber beschäftigt sich RIPPEL (17) noch einmal eingehend mit der Formel von ROBERTSON. Er versucht diese bei kleinem Intensitätsfaktor k durch eine Korrektur den Tatsachen besser anzupassen; es scheint mir aber, dass durch seine Umrechnung der theoretische Wert der Kurven in Frage gestellt wird.

Für das Umbiegen der Wachstumskurven zur Horizontalen macht RIPPEL verschiedene Faktoren verantwortlich. Am einfachsten liegen die Verhältnisse jedenfalls beim Wachstum der Hefe in einer begrenzten Menge von Nährlösung. Hier ist wohl die Hemmung, wie es die Ableitung von ROBERTSON's Formel verlangt, unmittelbar auf die Abnahme der Nährstoffkonzentration zurückzuführen. Für den Fall höherer Pflanzen denkt aber auch RIPPEL an andere Hemmungsfaktoren, zum Beispiel eine abnehmende Fähigkeit zur Nahrungsaufnahme. ROBERTSON (18) selber hat in seinen spätern Arbeiten ebenfalls speziellere Annahmen über die wirksamen Stoffe gemacht; er nimmt an, dass Lecithin (oder allgemeiner die Phospholipinegruppe) als „Autokatalyst“ des Wachstums wirke.

Ein Blick auf die Gesamtheit der Wachstumsvorgänge zeigt uns, dass die Veränderungen der Wachstumsgeschwindigkeit parallel laufen zu den mikroskopisch nachweisbaren Veränderungen im Bau der Zellen. Die Veränderung der Wachstumsintensität ist eine Teilerscheinung der Verwandlung des embryonalen Zustandes in den Dauerzustand. Embryonales Gewebe, Streckungs-

gewebe und Dauergewebe müssen sich qualitativ und quantitativ in ihrer Wachstumstätigkeit unterscheiden.

In mathematischer Hinsicht ist noch hinzuzufügen, dass, sobald die vorausgesetzten Hemmungsfaktoren nicht mehr direkt mit den Konzentrationsänderungen der Nährstoffe zusammenhängen, auch nicht mehr zu erwarten ist, dass die Hemmung in ihrem Verlauf genau der Formel ROBERTSON's folgt.

Wichtige neue Gesichtspunkte sind in einer Arbeit von SIERP (24) enthalten, der die Veränderungen der „grossen Periode“ des Wachstums unter wechselnden Aussenbedingungen genauer ins Auge fasste. Seiner Auffassung über die Ursachen der grossen Periode kann ich mich allerdings nicht anschliessen. Er beurteilt das Wachstum ausschliesslich nach der absoluten Wachstumsgeschwindigkeit und führt die grosse Periode derselben zurück auf eine anfängliche Förderung und eine spätere Hemmung des Wachstums.

Die Wachstumskurve vergleicht er mit der Optimumkurve, welche den Zusammenhang zwischen Assimilation und Temperatur angibt, und möchte sie auch in gleicher Art theoretisch erklären.

Es bedeutet bei den Assimilationskurven von BLACKMAN die Abszisse die Temperatur, also die wechselnde Grösse eines Aussenfaktors; bei den Wachstumsschemata von SIERP bedeutet aber die Abszisse die Zeit, wobei den ganzen Versuch hindurch die Aussenbedingungen konstant bleiben. Trotz der äusserlichen Ähnlichkeit der Kurvenbilder handelt es sich um Erscheinungen, die nicht verglichen werden können.

Es ist aber sehr gut möglich, die Resultate SIERP's mit der von mir vertretenen Auffassung über das Wachstum in Beziehung zu setzen. Ich betrachte die Veränderungen in der relativen Wachstumsgeschwindigkeit als Folge einer autonomen Umwandlung des Gewebecharakters, welche zugleich auch in den mikroskopisch nachweisbaren Unterschieden des embryonalen Gewebes, des Streckungsgewebes und des Dauergewebes zum Ausdruck kommt. SIERP's Darstellung zeigt nun, wie die Aussenfaktoren in doppelter Weise bei der Bestimmung der Wachstumsintensität mitwirken. Einmal wirken bei gegebenem Alterszustand, bei gegebener Wachstumsphase, sowohl stärkeres Licht als auch höhere Temperatur fördernd, beschleunigend auf das Wachstum; zweitens aber wirken sowohl Licht als Wärme fördernd, beschleunigend auf die Verwandlung des Gewebecharakters, oder, anders ausgedrückt, sie wirken hemmend,

abkürzend auf die Wachstumsdauer. Wie SIERP im einzelnen ausführt, kann die Wirkung der Aussenfaktoren auf das Wachstumsresultat, den Ertrag, sehr verschieden ausfallen, da bald die Zunahme der Wachstumsgeschwindigkeit, bald die Abnahme der Wachstumsdauer den überwiegenden Einfluss ausüben werden.

Zusammenfassung.

1. Die Resultate von Wachstumsmessungen lassen sich in zweckmässiger Weise durch Kurven darstellen, bei denen als Ordinaten nicht die gemessenen Längen, Gewichte usw., sondern die Logarithmen derselben abgetragen werden.

2. Als Mass für die Intensität der Wachstumsvorgänge ist die relative Wachstumsgeschwindigkeit zu verwenden.

3. Für die Veränderungen der relativen Wachstumsgeschwindigkeit einzelner Organe im Innern der Knospe besteht kein allgemeines Gesetz. Das Längenwachstum des Stengels zeigt oft ein erstes Maximum am Vegetationspunkt und ein zweites in der Streckungszone; das Längenwachstum der Wurzeln hat ein einziges Maximum in der Streckungszone.

4. Die Methode der Kernteilungszählungen darf zum Vergleich der Vermehrungsgeschwindigkeit der Zellen benutzt werden; doch bringt sie Wachstumsdifferenzen infolge verschiedener Temperatur nicht zum Ausdruck.

5. In der Wurzelspitze liegt das Maximum der Teilungshäufigkeit nicht in der Initialzone, sondern hinter derselben.

6. An Sprossknospen von *Lathyrus latifolius* liess sich statistisch nachweisen, dass Spross-, Blütenstands- und Blütenvegetationspunkte eine grössere Teilungshäufigkeit aufweisen als junge Blütenanlagen. In Dermatogen, Periblem und Plerom war die Teilungshäufigkeit dieselbe. In einer jungen Blütenstandsaxe zeigten das Procambium die grösste, Mark und Rinde kleinere und die Epidermis die kleinste Teilungshäufigkeit.

Literaturverzeichnis.

1. ASKENASY. Über die jährliche Periode der Knospen. Bot. Ztg. XXXV, 1877.
2. ASKENASY. Über eine neue Methode, um die Verteilung der Wachstumsintensität in wachsenden Teilen zu bestimmen. Verh. naturhist. med. Ges. Heidelberg 1880.

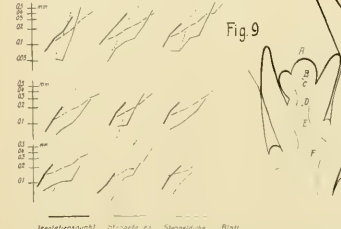
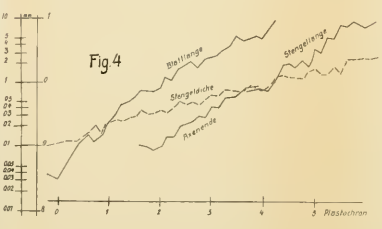
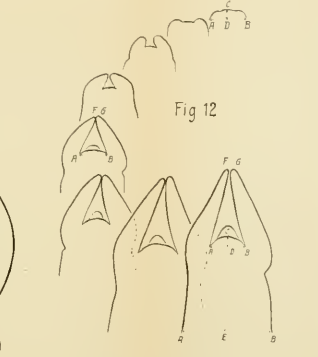
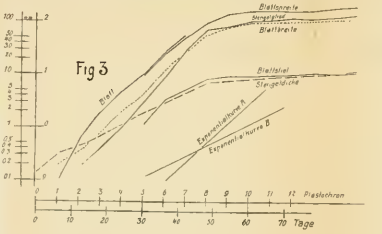
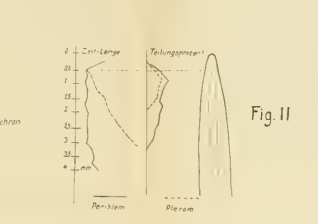
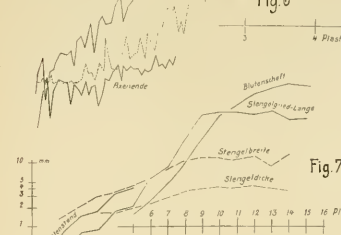
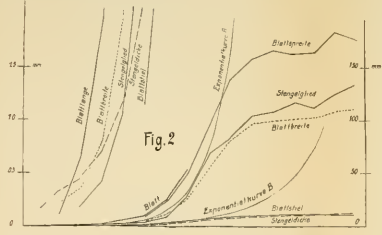
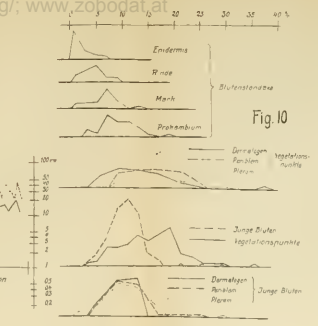
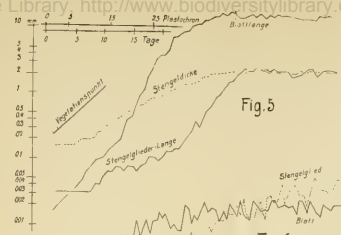
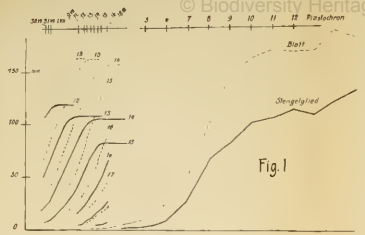
3. BLACKMAN. The Compound Interest Law and Plant Growth. Ann. of Bot. XXXIII, 1919, p. 353.
4. BRIGGS, G. E., KIDD F AND WEST C. What is the significance of the efficiency index of plant growth. New Phytologist XIX, 1920, p. 88–96.
5. BRIGGS, G. E., KIDD F AND WEST C. Method and significant relations in the quantitative analysis of plant growth. New Phyt. XIX, 1920, p. 200–207.
6. BRIGGS, G. E., KIDD F AND WEST C. A quantitative analysis of plant growth. Annals of applied biology. VII, 1920, p. 103–123, 202–223.
7. BÜCHER, E. Zuwachsgrößen und Wachstumsgeschwindigkeit bei Pflanzen. Diss. Leipzig 1901.
8. FISCHER, H. Beitrag zur graphischen Darstellung des Pflanzenwachstums. Sitzber. d. naturw. Ges. Isis. Dresden 1916. S. 3–12.
9. GRESSLER, P. Über die Substanzquotienten von *Helianthus annuus*. Diss. Bonn 1907.
10. HOFMEISTER. Allgemeine Morphologie der Gewächse. Leipzig 1868.
11. JOST. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. 1918.
12. KARSTEN. Über embryonales Wachstum und seine Tagesperiode. Ztschr. f. Bot. VII, 1915. S. 1–34.
13. KUIJPER, J. De groei van bladschijf bladscheede en Stengel van het suikerriet. Medeeelingen van het proefstation voor de Java suikerindustrie. Deel V, No. 8. 1915, p. 211–239. 6 Fig.
14. KUIJPER, J. Voortgezette metingen omtrent den lengtegroei van het suikerriet. Medeeelingen van het proefstation voor de Java suikerindustrie. Landbouwkundige Serie 1918. No. 3, p. 162–216. 12 Fig.
15. LUNDEGÅRDH. Das Wachstum des Vegetationspunktes. Ber. deutsch. bot. Ges. XXXII, 1914. S. 77.
16. NONWEILER. Morphologische und physiologische Untersuchungen an *Chora strigosa*. Diss. Zürich 1907.
17. RIPPEL. Über die Wachstumskurve der Pflanzen. Landwirtsch. Versuchsstationen XCVII 1921. S. 357–380.
18. ROBERTSON, T. B. On the nature of the antocatalyst of growth. Arch. f. Entwicklungsmechanik XXXVII 1913. S. 497–508.
19. SCHÜEPP, O. Variationsstatistische Untersuchungen an *Aconitum Napellus*. Zeitschr. f. induktive Abst. u. Vererbungslehre. X. 1913. S. 242–268.
20. SCHÜEPP, O. Wachstum und Formwechsel des Sprossvegetationspunktes der *Angiospermen*. Ber. deutsch. bot. Ges. XXXII. 1914. S. 328–339.
21. SCHÜEPP, O. Untersuchungen über Wachstum und Formwechsel von Vegetationspunkten. Jahrb. f. wiss. Bot. LVII. 1916. S. 17–79.
22. SCHÜEPP, O. Beiträge zur Theorie des Vegetationspunktes. Ber. deutsch. bot. Ges. XXXIV. 1916 (1917). S. 847–857.
23. SCHÜEPP, O. Über Form und Darstellung der Wachstumskurven. Ber. deutsch. bot. Ges. XXXVIII. 1920. S. 193–199.
24. SIERP. Untersuchungen über die grosse Wachstumsperiode. Biologisches Zentralblatt XXXX. 1920. S. 433–457.
25. STÄLFELT. Über die Schwankungen der Zellteilungsfrequenz bei den Wurzeln von *Pisum sativum*. Svensk Bot. Tidskrift XIII. 1919. S. 61–70.

26. STÅLFELT. Die Beeinflussung unterirdisch wachsender Organe durch den mechanischen Widerstand des Wachstumsmediums. Arkiv för Bot. XVI. 1920. S. 1–88.
27. STÅLFELT. Ein neuer Fall von tagesperiodischem Rhythmus. Svensk Bot. Tidskrift. XIV. 1920. S. 186–189.
28. TRÖNDLE. Untersuchungen über die geotropische Reaktionszeit und über die Anwendung variationsstatistischer Methoden in der Reizphysiologie. Denkschrift schweiz. naturforsch. Ges. LI. 1915. S. 1–84.
29. VÖCHTING, H. Über den Sprosskeitel der *Linaria spuria*. Jahrb. wiss. Bot. XXXVIII. 1903.

Erklärung zu Tafel VI.

- Figur 1. *Calycanthus florida*. Links Lebendmessung von Stengelgliedern und Blättern vom 30. Juli bis 18. August 1919. Rechts Konstruktion von Wachstumskurven auf Grund der Messungen vom 18. August.
- Figur 2. *Calycanthus florida*. Wachstumskurven nach ASKENASY; links und rechts mit verschiedenem Ordinatenmasstab.
- Figur 3. *Calycanthus florida*. Gleiche Kurven wie in Figur 2 mit logarithmischem Ordinatenmasstab. Vergleiche Text Seite 44.
- Figur 4. *Calycanthus florida*. Wachstumskurven aus 16 Längsschnitten durch Stengelknospen.
- Figur 5. *Elodea densa*. Wachstumskurven für verschiedene Teile des Sprosses.
- Figur 6. *Mesembryanthemum caulescens*. Wachstumskurven.
- Figur 7. *Lathyrus latifolius*. Wachstumskurven für Stengel und Blütenstand.
- Figur 8. *Lathyrus latifolius*. Wachstumskurven für Blätter.
- Figur 9. *Lathyrus latifolius*. Wachstumskurven für Stengelenden. Rechts Knospenlängsschnitt mit Angabe der gemessenen Strecken.
- Figur 10. Variationskurven für die Kernteilungshäufigkeit in verschiedenen Teilen der Sprossknospe von *Lathyrus latifolius*.
- Figur 11. *Vicia Faba*. Rechts Längsschnitt der Wurzelspitze; Mitte: Häufigkeit der Kernteilungen; links: Mittlere Zelllängen.
- Figur 12. Längsschnitte durch die Sprossspitze von *Calycanthus* zu einem vollständigen Zyklus geordnet.

Manuskript eingegangen 4. Nov. 1921.



Regelmaßigkeit der Blattlänge und Blattbreite

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1922-1923

Band/Volume: [34_1922-1923](#)

Autor(en)/Author(s): Schüepp (Schuepp) Otto

Artikel/Article: [Wachstumsmessungen an Knospen und Vegetationspunkten 41-68](#)