

(Aus der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, Zweigstelle für Forstpflanzenzüchtung Waldsiedersdorf.)

Prüfung des Wachstumsganges der Kiefer im Keimlingstest als Auslesemethode.

Von O. SCHRÖCK und K. STERN.

Mit 14 Textabbildungen

Fragestellungen der Frühbeurteilungen der Wachstumsleistung sind von Forstpflanzenzüchtern schon häufig bearbeitet worden. Allen diesen Versuchen war gemeinsam die direkte oder indirekte Verwendung eines Wachstumswertes zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt. Erst in neuerer Zeit versuchte man auch physiologische Merkmale heranzuziehen, so MARCET (10) und KARSCHON (9), wobei diese Autoren allerdings die Frühbeurteilung des Wachstums nicht als einzige Problemstellung ihren Arbeiten zugrunde legten. Verfasser haben schon früher auf die Möglichkeit verwiesen, die sich aus der Anwendung von Wachstumsgesetzen für die Frühbeurteilung des Wachstums ergeben, und insbesondere mit der BACKMANSCHEN Funktion gearbeitet, SCHRÖCK (13), SCHRÖCK und STERN (15), STERN (18, 19). Im nachfolgenden wird eine Reihe von Versuchen beschrieben die als Grundlage die Annahme hat, daß sich die Manifestation des Genotyps, die Wachstumsfaktoren betreffend, auch im I. Zyklus, im Zyklus des embryonalen Wachstums, zeigen muß. Dieser ist im Reiche der höheren Pflanzen identisch mit dem Keimlingswachstum. SCHMIDT (12) hatte bereits bewiesen, daß sich in diesem frühen Abschnitt des Wachstums die Anlage der phototropischen Reaktion bei der Kiefer nachweisen läßt, eine spezifische Genmanifestation also bereits erfolgt ist. Danach besteht von vornherein die Aussicht, ähnliche Ergebnisse auch bezüglich des Wachstums zu erhalten. Russische Autoren, vor allem aus der Schule MITSCHURINS, glauben dagegen annehmen zu müssen, daß im Keimlingsstadium die Gene sich in labilem Zustand befinden. Sie sollen in diesem Stadium der Entwicklung u. a. durch Einflüsse des Milieus leicht zu verändern sein. So verspricht man sich einen besonderen Effekt von Transplantationen gerade in diesem Lebensabschnitt. Die experimentelle Beweisführung der Anhänger MITSCHURINS ist aber bisher nicht überzeugend.

Entsprechend dem mehrdimensionalen Charakter des Wachstums wird man bei der statistischen Bearbeitung besondere Wege gehen müssen. Es genügt nicht, allgemeine Beziehungen zu vergleichen, da diese in ähnlicher Weise von verschiedenen Größen abhängig sein können. Die BACKMANSCHEN Funktion, sowie deren geometrische Deutung im Wahrscheinlichkeitsnetz (STERN 19) erlaubt hier verhältnismäßig einfache Rechnungen.

A. Allgemeine Methodik.

Die Grundlage ist die BACKMANSCHEN Wachstumsfunktion (BACKMAN 1943):

$$y = c_0 \int_{-\infty}^x e^{-x^2} dx \quad (1)$$

und die Zuwachsfunktion als erste Ableitung von (1):

$$\log h = k_0 + k_1 \log t + k_2 \log^2 t \quad (2).$$

Weiter ist in (1) die sogenannte organische Zeit

$$x = c_1 \log t + c_2 \quad (3)$$

c und h sind Konstante, y der Wachstumswert, h der Zuwachs, t die Zeit im normalen Maßsystem. Die formale Ähnlichkeit von (1) mit dem Wahrscheinlichkeitsintegral erlaubt die Anwendung der für letzteres entworfenen Tabellen und Zeichenpapiere, insbesondere des Wahrscheinlichkeitsnetzes. (Näheres bei STERN 19). Die Konstanten c haben in dieser Darstellung genau festgelegte Bedeutung: c_0 charakterisiert die Endgröße I , der das Wachstum asymptotisch zustrebt entsprechend $c_0 = I\sqrt{\pi}$, c_1 bestimmt den Neigungswinkel der Geraden im Wahrscheinlichkeitsnetz, c_2 die parallele Verschiebung der Geraden oder deren Schnittpunkt mit einer ideellen Ordinate. Die Konstanten c und h stehen untereinander in folgender Beziehung:

$$k_0 = \log(c_0 \cdot c_1 \log e) - c_2^2 \log e$$

$$k_1 = -2 c_1 \cdot c_2 \log e - 1$$

$$k_2 = -c^2 \log e.$$

Diese Verhältnisse sind außerordentlich komplizierter Natur. Es erweist sich nämlich, daß man praktisch kaum eine Konstante willkürlich ändern kann, ohne gleichzeitig auch die anderen in Bewegung zu setzen. Trotz der Unübersichtlichkeit dieses Gleichungssystems erlaubt es doch gewisse Rückschlüsse auf die Richtung der Konstantenbewegung bei Änderung, vor allem von c_2 , das laut Gleichung für k_0 entscheidenden Einfluß auf die Endgröße hat, der durch k_0 kompensiert werden kann. Es handelt sich also um eine Art biologischen Gleichgewichts, das im einzelnen zwar unübersichtlich ist, aber doch generelle Schlußfolgerungen zu ziehen erlaubt.

Allgemein gibt es folgende Beziehungen zwischen Endgröße, c_2 und Lebensdauer, welche letzte eine Funktion von c_2 ist; wenn $|c_2|$ größer wird, so wird die Lebensdauer t_d größer, gleichzeitig kann die Endgröße kleiner (Fall 1) oder größer (Fall 2) werden.

Das Verhältnis von t_d und c_2 ist durch folgende Formel eindeutig gegeben:

$$\log t_d = \frac{1,2247 - c_2}{c_1}.$$

Im vorliegenden Fall, da c_2 stets negativ auftritt, wird ein numerisch größeres c_2 also eine höhere Lebensdauer zur Folge haben. Im I. Zyklus kann man allerdings von „Lebensdauer“ nicht sprechen, man setzt hier sinngemäß dafür die organische Zeit $x = +\sqrt{3}/2$; die organische Zeit, bei der im III. Zyklus der natürliche Tod eintreten soll. Sie wird also bei größerem c_2 später erreicht.

Untersucht man die Wirkung der Umweltfaktoren auf die drei genannten Größen, so findet man den Fall 1 verwirklicht durch die Ernährung des Organismus, den Fall 2 durch den Temperaturfaktor, beides, solange c_2 negativ ist.

B. Spezielle Methodik.

Auf diesen allgemeinen Voraussetzungen ist auch die spezielle Methodik aufgebaut. Sie berücksichtigt weiter die in den ersten Versuchen gefundene Form der Wachstumskurve des Kiefernkeimlings. Diese Form zeigt grundsätzliche Unterschiede zu der des früher untersuchten III. Zyklus unserer Holzarten und bedingt eine völlig andere Rechenweise, wie gezeigt werden wird.

1. Die Bestimmung von $t=1$.

Es stellte sich heraus, daß man in keinem Fall den Verlauf des Wachstums durch die Funktion BACKMANS darstellen konnte, wenn man etwa den Tag der Keimung = 1 setzte. Die Übereinstimmung wurde jedoch immer besser, wenn man fortlaufend höhere numerische Werte für t des Keimungstages annahm. (Abb. 1). Dann aber erlaubt der Maßstab des Wahrscheinlichkeitsnetzes keine genaueren Ablesungen mehr,

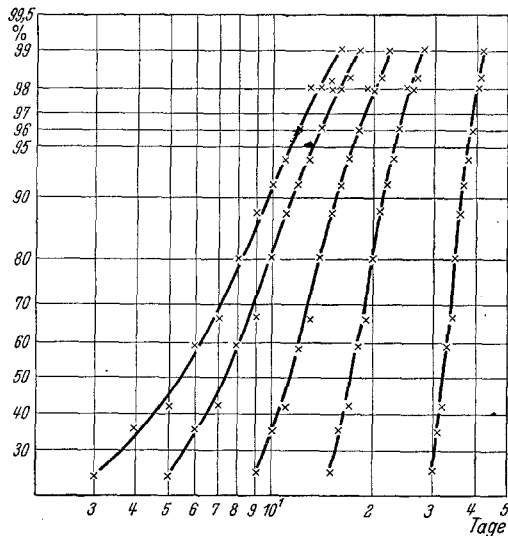


Abb. 1. Wachstumswerte des Keimlings Nr. 5111 bei Ansatz verschiedener Zeiten als 1. Wachstumstag. Die Übereinstimmung mit der Geraden wird laufend besser. (Netz mit log. Abszisse).

etwaige Unterschiede können nicht mehr herausgearbeitet werden. Theoretisch war dieses Verhalten zu erwarten. Das embryonale Wachstum beginnt ja schon lange vor der Keimung und wird lediglich durch die mit der Samenreife beginnende Ruheperiode unterbrochen. Immerhin ist es erstaunlich, daß die Funktion diesen Sachverhalt mit großer Sicherheit herausarbeitet. Wir werten dies als Beweis für ihre Richtigkeit. Ähnliches ist von BACKMAN für das Wachstum des Menschen beschrieben worden. Hier setzt der Primordialzyklus etwa vom 2. Monat nach der Befruchtung ein und liefert merkliche Werte noch bis zum 14. Lebensjahr. (BACKMAN 2). STEFANSSON (17) untersuchte das Wachstum des Embryos im Kiefern Samen mehrerer Bäume während der Monate September und Oktober. Er fand, daß die Änderung des Verhältnisses von Embryolänge zu Samenlänge sich in dieser Zeit noch erheblich ändert, die Größe dieser Änderung ist jedoch bei den einzelnen Bäumen sehr unterschiedlich. Weiter bestätigt er Ergebnisse von SCHRÖCK (14) über unterschiedlichen Eintritt der Samenreife bei einzelnen Kiefern. Es besteht jedoch nach STEFANSSON (17) keine ausgeprägte Übereinstimmung zwischen dem Wachstum des Embryos in den letzten Wochen vor der Reife und dem Eintritt

der Reife selbst, der also noch von anderen physiologischen Faktoren abhängt, die auf diese Weise nicht erfaßt werden können. EDLEN (6) zeigt für *Daphnia magna*, daß die Geburt stets zu einer bestimmten organischen Zeit x des gerade laufenden Zyklus stattfindet. Letzteres ist für uns von besonderer Wichtigkeit, da es Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Serien ist. Man kann daher annehmen, daß in jedem Falle zur Zeit der Keimung identische Entwicklungsstufen vorliegen. Wäre dies nicht der Fall, so würde man gänzlich unvergleichbare Kurvenabschnitte in Vergleich stellen bzw. zur Konstantenermittlung benutzen. Das Ergebnis eines derartigen Verfahrens könnte natürlich nie die geforderten Auskünfte geben.

Es war also erforderlich, den Tag des Wachstumsbeginnes festzulegen. Diese Aufgabe erscheint in folgender Form: Gegeben ist ein Teil einer Kurve, deren zugrundeliegende Funktion die oben angegebene ist. Unbekannt sind die Konstanten und die auf der Abszisse einzusetzenden Zeitwerte. Herr JANTSCHER vom II. Mathematischen Institut der Humboldt-Universität übernahm freundlicherweise nach Vermittlung durch Herrn Professor Dr. STUBBE diese Aufgabe. Er ging von (3) aus und bildete die Differenz zweier organischer Zeiten.

$$x_m - x_n = c_1 (\log t_m - \log t_n) = c_1 \log (t_m/t_n),$$

dann ist

$$D_{x_m, n} = x_m - x_n = c_1 \log \left(1 + \frac{D t_{m, n}}{t_n} \right).$$

Letzterer Ausdruck wird zu einer log. Reihe entwickelt

$$\log (1 + u) = u - \frac{u^2}{2} + \frac{u^3}{3} - \frac{u^4}{4} + \dots$$

Statt der log. Reihe, die verhältnismäßig langsam gegen 0 konvergiert, kann man auch die Entwicklung in eine Exponentialreihe durchführen, die rascher kleineren Werten zustrebt. Beide lassen sich nach der Methode der kleinsten Quadrate auflösen. Man kann mit beliebiger Genauigkeit sowohl t_m als auch t_n bestimmen. Es ist dies zweifellos eine sehr exakte Lösung, doch zeigte sich bald, daß sie mit sehr großem Rechenaufwand verbunden ist. Da es auf sehr große Zahlen von Untersuchungen ankam, entwickelte STERN aus dem gleichen Ansatz eine andere Formel, deren Vorteil größte Bequemlichkeit in der Rechnung ist. Diese setzt jedoch voraus, daß man t_m stets größer als t_n wählt, so daß ihre Differenz also größer als 0 ist. Weiter werden die Differenzen der organischen Zeit so gebildet, daß

$$D_{x_m, n} = D_{x_m, n 2} \\ 1 + \frac{D t_{m, n}}{t_n} = e \frac{D_{x_m, n}}{c_1}$$

also unter Beachtung der Voraussetzungen

$$1 + \frac{D t_{m, n 1}}{t_{n 1}} = 1 + \frac{D t_{m, n 2}}{t_{n 2}} \\ \frac{D t_{m, n 1}}{D t_{m, n 2}} (t_{n 2} - t_{n 1}) \\ t_{n 1} = \frac{D t_{m, n 1}}{1 - \frac{D t_{m, n 1}}{D t_{m, n 2}}} \quad (4).$$

Da diese Formel sehr leicht zu handhaben ist, ist sie für umfangreiche Untersuchungen gut geeignet, jedoch ist es notwendig, die zu untersuchenden Serien

vorher graphisch gut auszugleichen. Auch ist, wie bei der Reihenentwicklung, die graphische Schätzung der Endgröße Voraussetzung, um die organischen Zeiten bestimmen zu können. Die Verrechnung ergab, daß die Genauigkeit offenbar doch nicht ausreichte, um die sehr feinen Unterschiede auszudrücken. Im großen Durchschnitt war aber offensichtlich, daß der Wachstumsbeginn viel früher anzusetzen war als etwa am Tage vor der Keimung. Häufig ergaben sich sehr hohe Werte für t_{n1} . Dies war auch nach den Untersuchungen STEFANSSONS (17) zu erwarten.

Hieraus ergeben sich für uns wesentliche Gesichtspunkte für die Umformung der BACKMANSchen Funktion zum praktischen Gebrauch im Keimlingstest.

2. Entwicklung einer den praktischen Erfordernissen Rechnung tragenden Formel.

Setzt man für den Keimungstag laufend höhere Werte ein, so werden die Differenzen der log. Zeitwerte immer einheitlicher. So ist

$$\begin{array}{ll} \log 1 = 0,00000 & \text{Diff.} = 0,30103 \\ \log 2 = 0,30103 & \text{..} = 0,17609 \text{ usf.} \\ \log 3 = 0,47712 & \end{array}$$

hingegen ist

$$\begin{array}{ll} \log 100 = 2,00000 & \text{Diff.} = 0,00432 \\ \log 101 = 2,00432 & \text{..} = 0,00428. \\ \log 102 = 2,00860 & \end{array}$$

Im ersten Fall verhalten sich also die Differenzen der Logarithmen von Punkten gleichen arithmetischen Abstandes wie 30:18.

Im letzteren bei gleichem Punktabstand schon annähernd 1:1. Strebt also t_{n1} immer höheren Werten zu, so kann man unbedenklich die organische Zeit (3) in arithmetische Form bringen:

$$x = c_1 t + c_2 \quad (5)$$

Zu welchen erkenntnistheoretischen Folgerungen es führen würde, wenn man (5) in die Wachstumsfunktion (1) einbauen würde, soll hier nur angedeutet werden: Es wäre dann der Beginn des Wachstums und des Lebens bei $-\infty$ anzusetzen. Auf diese Weise

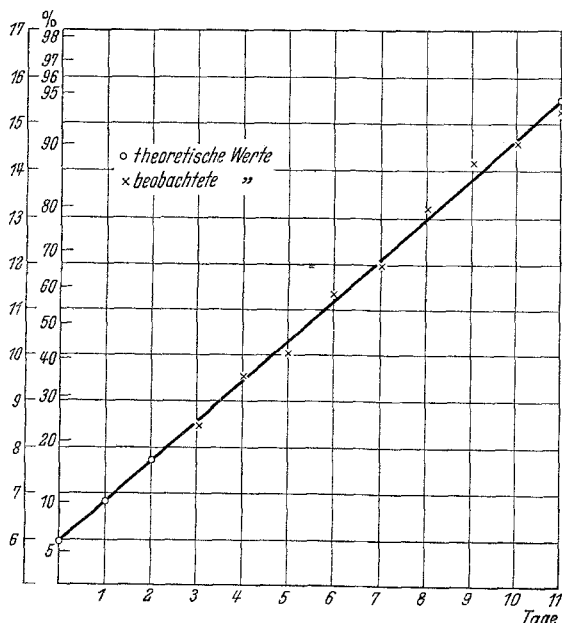


Abb. 2. Wachstumswerte des Keimlings Nr. 5111 dargestellt im Wahrscheinlichkeitsnetz über arithm. Abszisse.

käme man zu einer Vorstellung, die der WEISSMANSchen Keimbahn entspräche. Die Versuchsmöglichkeiten ließen eine Klärung dieser Frage jedoch nicht zu. Auch müßte hierzu eine größere Zahl von Objekten bearbeitet werden. Entsprechende Untersuchungen an Fichtenkeimlingen zeigten ganz ähnliche Ergebnisse.

Für den vorliegenden Zweck genügt es festzustellen, daß die Symmetrie der Wachstumskurve des I. Zyklus die Verwendung des arithmetischen Wahrscheinlichkeitsnetzes erlaubt (Abb. 2). Sie ist also aufzufassen als spezielle Formulierung der BACKMANSchen Funktion oder eine Gesetzmäßigkeit, wie sie oben angedeutet wurde (Abb. 3).

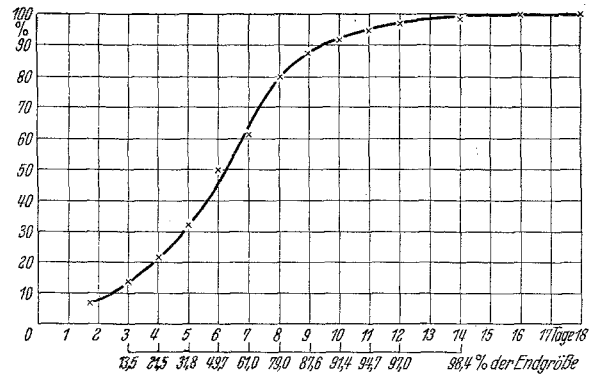


Abb. 3. Keimling Nr. 5111. Wachstumswerte in % der schließlich erreichten Endgröße in normaler Darstellung.

An einem Beispiel soll dies noch einmal erläutert werden: Nach Abb. 2 und den für ihre Konstruktion verwandten Daten für den Sämling 5111 ergibt sich für eine Differenz

$$\begin{aligned} D_{x_m, n} &= 0,85. \\ t_{m1} &= 7,97 \quad (x = +0,55 \text{ entspr. } 78,1\% \text{ d. Endgröße}) \\ t_{n1} &= 5,16 \quad (x = -0,30 \text{ entspr. } 33,6\% \text{ d. Endgröße}) \\ t_{m2} &= 8,14 \quad (x = +0,60 \text{ entspr. } 80,2\% \text{ d. Endgröße}) \\ t_{n2} &= 5,38 \quad (x = -0,25 \text{ entspr. } 36,2\% \text{ d. Endgröße}) \end{aligned}$$

$$t_{n1} = \frac{2,81:2,76 \cdot 0,22}{1 - 2,81:2,76} = 0,2222 \quad (-0,0181).$$

Für eine x -Differenz von 1,00 (82,1 — 31,0% bzw. 87,1 — 38,9%) ergibt sich:

$$t_{n1} = \frac{3,65:3,46 \cdot 0,84}{1 - 3,65:2,76} = 0,88620 \quad (-0,055).$$

Man sieht, daß der Idealfall der völlig symmetrischen Verteilung in diesem Beispiel fast erreicht ist. Es müßte dann nämlich sein:

$$Dt_{m, n1} : Dt_{m, n2} = 1$$

um im Nenner den Wert 0 zu erhalten. Dies geht auf folgende Überlegung zurück:

In der Wachstumsfunktion (1) soll die organische Zeit auf arithm. Basis arbeiten:

$$\begin{aligned} x_m &= c_1 t_m + c_2 & x_m - x_n &= c_1 (t_m - t_n). \\ x_n &= c_1 t_n + c_2 \end{aligned}$$

Unsere Voraussetzung war:

$$x_{m1} - x_{n1} = D_{x_m, n} = x_{n2} - x_{m2},$$

woraus sich ergibt:

$$c_1 Dt_{m, n1} = D_{x_m, n} = c_1 Dt_{m, n2}$$

und:

$$Dt_{m, n1} = Dt_{m, n2}.$$

Das Ergebnis beweist aufs Neue, daß die auf arithm. Abszisse aufgebaute Rechnung zumindest brauchbare Resultate verspricht. Sie wird daher von uns nur noch in dieser Form durchgeführt. Daraus ergibt sich aber eine Folgerung: Die errechneten Konstanten sind nicht identisch mit denen der BACKMANSchen Funktion, stehen jedoch in funktionalen Zusammenhang zu diesen. Deshalb wurde auch für sie die gleiche Bezeichnung beibehalten. Man muß sich aber über diesen Unterschied stets klar sein.

3. Die Errechnung der Konstanten c .

Der Übergang zum arithm. System bedeutet also den Beginn des Wachstums bei $-\infty$. Die Wahl eines bestimmten Zeitpunktes als Wachstumsbeginn ist also eine willkürliche Fiktion. Die Konstante c_1 ist von dieser Wahl unabhängig, weil ja der Neigungswinkel nicht hiervon berührt wird. Für c_2 aber ist die Lage des o-Punktes des Koordinatensystems von großer

bedeutung, es muß also in den zu vergleichenden Serien stets der gleiche Tag als Wachstumsbeginn angesetzt werden. Aus Zweckmäßigkeitsgründen wählt man am besten den Tag der Keimung als Tag 1. Ebenso muß man, um objektive Ergebnisse zu erhalten, die Endgröße nach einem feststehenden System auswählen. In unserem Falle hielten wir die Versuchsdauer stets bei 21 Tagen. Die Endgrößen wurden dann aus dem zu diesem Zeitpunkt gemessenen Wachstumswert wie folgt bestimmt:

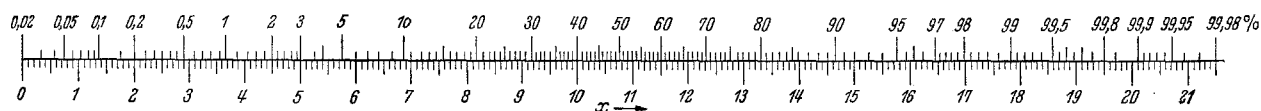


Abb. 4. Nomogramm zur Umrechnung der Ordinaten des Wahrscheinlichkeitsnetzes.

1. Wachstumsbeob. b. z. Tag 21, Endgröße = letzter Wert = 0,4 mm
 2. Wachstumsbeob. b. z. Tag 19, Endgröße = letzter Wert + 0,2 mm
 3. Wachstumsbeob. b. z. Tag 17, Endgröße = letzter Wert + 0,1 mm
 4. Wachstumsbeob. b. z. Tag 15, Endgröße = letzter Wert + 0,0 mm.

Ist also bis zum 21. Tag nach der Keimung noch eine Längenzunahme des Hypokotyls festzuhalten, so wird zum letzten Wachstumswert 0,4 mm zugezählt und die so erhaltene Größe als asymptotischer Endwert festgesetzt. Zeigte die Messung am 19. Tag gegenüber der vorherigen noch Wachstum an, so werden, falls danach keine Zunahme mehr beobachtet wird, 0,2 mm zum letzten Wachstumswert zugezählt, um den Endwert zu erhalten, usw.

Es müssen alle Wachstumswerte eines Keimlings umgerechnet in % der so ermittelten Endgröße bei zeichnerischer Darstellung im arithm. Wahrscheinlichkeitsnetz auf einer Geraden liegen. DAEVES und BECKEL (5), die dies Verfahren in die Statistik einführten, geben den Bereich ausreichender Genauigkeit zwischen 10 und 90 % an. Auch wir werden deshalb alle Beobachtungen außerhalb dieser Grenzen außer Betracht lassen. Der Grund für die Ungenauigkeit der Werte außerhalb dieser Grenze ist die starke Vergrößerung der Ordinatenabstände des als Ordinate verwandten GAUSSschen Integrals. Man könnte nun die so erhaltenen Punkte einfach graphisch ausgleichen,

doch wird man auf diese Art stets subjektiv beeinflusste Werte erhalten. Andererseits ist die Methode der kleinsten Quadrate nur dann für Massenuntersuchungen geeignet, wenn sie auf einfachste Funktionen angewandt werden kann. Im Wahrscheinlichkeitsnetz ergibt sich nun eine einfache lineare Funktion dann, wenn man über die %-Ordinate eine einfach arithm. geteilte legt, die am zweckmäßigsten den Maßstab der Abszisse trägt. Dann liegen alle Punkte auf der Geraden

$$x = c_1 z + c_2 \quad (z = \text{Zeit in Tagen})$$

Hierin charakterisiert also c_1 den Neigungswinkel, c_2 den Schnittpunkt der Geraden mit der Ordinate. Eine Zeichnung der Punkte ist nun nicht mehr notwendig, wenn man das in Abb. 4 gezeigte Nomogramm verwendet, das die direkte Umrechnung der % in X-Werte erlaubt.

Es wäre allerdings zu beachten, daß jeder einzelne Punkt ein anderes Gewicht erhält. Denn mit zu-

nehmenden Abständen auf der % Ordinate sinkt die Signifikanz der Punkte für die X-Ordinate. Dies wäre besonders dann wichtig, wenn man Individualserien vergleicht. Dieser Vergleich von zwei oder mehr Individualserien (einzelnen Keimlingen) mit dem Ziel, schon aus einer einzigen Kurve Aussagen machen zu können, ist nach den bisherigen Ergebnissen noch nicht durchführbar, weil unter den derzeitig gewählten Versuchsbedingungen die zufallsbedingte Streuung der Einzelwerte noch verhältnismäßig hoch ist, zwar nicht so sehr in der Konstanten c_1 als in c_2 . Durch Verbesserung der Versuchsmethodik streben wir aber dieses Ziel an.

Eine Wägung der Beobachtungen würde in unserem Falle, da Durchschnitte verglichen werden, d. h. aus den Konstanten vieler Individualserien errechnete Durchschnitte, von nicht so großer Bedeutung sein, stellte aber eine große Belastung der Rechnung dar. Deshalb wurde darauf verzichtet. Ebenso ist bei der Errechnung der Mittel für die Konstanten der ihnen zugrundeliegenden Individualserien eine Wägung erforderlich, die sich aus der Summe der Abweichungsquadrate errechnen ließe. Wir haben diese Frage untersucht und bei gewogenen wie ungewogenen Mitteln so ähnliche Resultate erhalten, daß auch hierauf verzichtet werden konnte.

Beispiel zur Berechnung der Konstanten einer Individualserie:

Nr. 5111

Lfd. Nr.	Konstantenbestimmung				Fehlerrechnung	
	z	x	zz	zx	x (theor.)	Diff. 2
1	3	8,58	9	25,74	8,65	0,0049
2	4	9,55	16	38,20	9,50	0,0025
3	5	10,14	25	50,70	10,38	0,0576
4	6	11,34	36	68,04	11,22	0,0144
5	7	11,97	49	83,79	12,10	0,0169
6	8	13,21	64	105,68	13,06	0,0441
7	9	14,23	81	128,07	13,90	0,1089
8	10	14,66	100	146,60	14,73	0,0049
9	11	15,38	121	169,18	15,62	0,0576
$n = 9$	63	109,06	501	816,00		0,3118

$$\begin{aligned}
 [xz] \cdot [z] &= 51\,408,00 & s^2 &= 0,3118:7 = 0,0435 \\
 [zz] \cdot [x] &= 54\,639,06 & s &= 0,21 \\
 [z] \cdot [z] &= 3\,969,00 & & \text{Die Gewichte der Konstanten} \\
 [zz] \cdot n &= 4\,509,00 & & \text{ergeben sich als Nenner der} \\
 [z] \cdot c_2 &= 376,96 & & \text{Formel für } c_2 = 540 \\
 n \cdot c_2 &= 53,85 & S c_1 = S c_2 &= 0,21:\sqrt{540} \\
 & & & = 0,0096 \\
 c_2 &= \frac{[xz][z] - [x][zz]}{[z][z] - [zz]n} & & \text{Die theoretischen } x\text{-Werte} \\
 c_1 &= \frac{[xz] - [z]c_2}{[zz]} & & \text{wurden aus} \\
 c_1 &= \frac{[x] - n c_2}{[z]} & & x = c_1 z + c_2 \\
 & & & \text{errechnet.}
 \end{aligned}$$

Hieraus ergeben sich die Konstanten $c_2 = 5,98344$
 $c_1 = 0,87633$

Die Übereinstimmung mit den tatsächlichen Verhältnissen zeigt Abb. 2.

C. Versuchsanstellungen.

Alle Versuche wurden in der Dunkelkammer bei konstanter Temperatur und Beleuchtung gemacht. Lediglich die ersten Versuchsreihen liefen im Gewächshaus. Die Ergebnisse auch dieser Versuche sind befriedigend. Die Anzucht der Keimlinge erfolgt in emaillierten Gefäßen auf wasserüberstautem Sand oder Torf, eingesetzt in hierfür gebaute Haltevorrichtungen aus Leichtmetall und Schaumgummi, wie sie in Abb. 14 wiedergegeben sind. Torf ist vorteilhafter, da beim Auftreffen der Keimwurzel auf einen Stein oder eine Verhärtung der Keimling leicht herausgehoben werden kann. Eine Anzucht auf reinem Wasser ist technisch etwas schwieriger.

Die Wachstumsmessungen werden mit einem Horizontalmikroskop ausgeführt. Es ist besonders auf die Lichtverhältnisse zu achten, da der Phototropismus der Keimlinge durch die auftretenden Krümmungen sich sehr unangenehm auswirken und eine Messung der Zuwachswerte unmöglich machen kann. Um eine gerade Wurzel und ebensolches Hypokotyl zu erhalten, wird der Samen zum Keimen auf einer mit feuchtem Torf ausgelegten Pikierkiste ausgesät. Der Torf ist mit Fließpapier überdeckt, in das für jeden Samen ein Loch gebohrt ist, das auch noch 1—2 cm in den Torf geführt wird. In diese Löcher wird der Samen mit der Spitze nach unten eingesetzt. Die Wurzel und das Hypokotyl wachsen so völlig gerade. Auch die Keimung geht in der Dunkelkammer vor sich.

Als Ende der Wurzel und Beginn des Hypokotyls wird diejenige Zone des Keimlings angenommen, an der die Rotfärbung des Hypokotyls in das reine Weiß der Wurzel übergeht. Bei allen weiteren Messungen ergibt sich der Meßpunkt als der obere Rand der Haltevorrichtung. Als obere Begrenzung des Hypokotyls wird der Punkt angenommen, an dem die Keimblätter auseinanderlaufen. Solange diese noch in der Samenschale verborgen sind, wird der untere Rand der Samenschale gemessen. Begonnen werden die Messungen am 3. Tag nach der Keimung. Eher ist es nicht möglich, da noch ein zu großer Teil des Hypokotyls innerhalb der Samenschale liegt. Wie wir gesehen haben, ist eine Messung unterhalb der

10% Grenze auch für das Ergebnis nicht von allzu großer Bedeutung.

Es ist weiter zu klären, zu welcher Tageszeit man die Wachstumsmessungen auszuführen hat, um besonders in der Zeit des intensivsten Wachstums die Fehler gering zu halten, die sich aus dem unterschiedlichen Messungszeitpunkt ergeben, auch wenn dieser Unterschied im Höchstfall 1 Stunde beträgt. Abb. 5

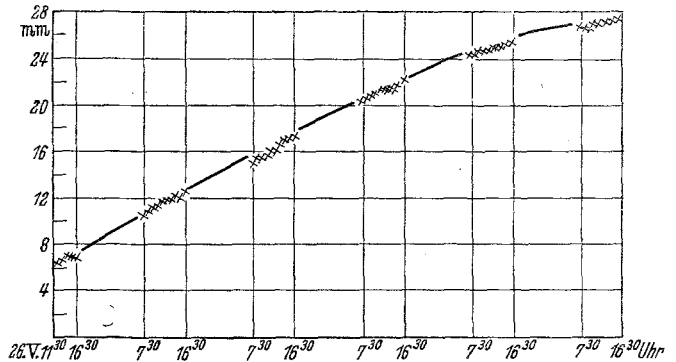


Abb. 5. Stündliches Wachstum, Mittel aus 10 Keimlingen, während des Tages.

und 6 zeigen, daß zwar während des ganzen Tages ein gewisser Zuwachs zu beobachten ist, daß dieser aber in den frühen Vormittagsstunden, etwa in der Zeit von 10—11 Uhr am geringsten ist. Die in den obigen Abbildungen gezeigte Versuchsserie wurde varianzanalytisch verrechnet, und die Unterschiede waren statistisch einwandfrei gesichert.

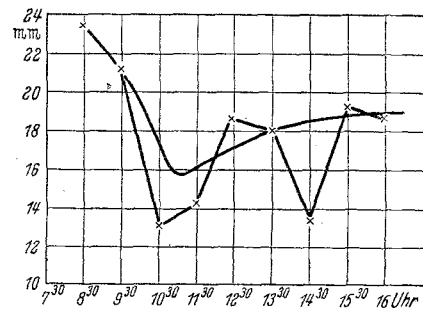


Abb. 6. Stündlicher Zuwachs von 7³⁰ bis 16³⁰ Uhr.

D. Ergebnisse.

1. Zyklenbildung aller Wachstumsgrößen.

Bisher hatten wir uns nur mit dem Längenwachstum des Hypokotyls auseinandergesetzt. Es blieb offen, ob auch das Längenwachstum der Wurzel sowie die Gewichtszunahme der Zyklenbildung unterliegen. Abb. 7 bis 9 beweisen, daß dieses tatsächlich der Fall ist. Auch Abb. 10 und 11, an einer anderen Versuchsserie gewonnen, bestätigen diese Ergebnisse und zeigen zusätzlich zwei interessante Tatsachen: Um die Zyklenbildung des Längenwachstums der Wurzel zu zeigen, ist die Anzucht auf Nährlösung zweckmäßig. Auf Sand setzt der II. Zyklus mit größeren Werten ein. Die Anzucht auf Nährlösung war erforderlich, um das Gewichtswachstum zu bekommen. Die so erhaltenen Durchschnittskurven sind übrigens nicht so symmetrisch wie in den Individualserien. Der Grund hierfür ist in den Korrelationen zu suchen, die noch gezeigt werden. Hier liegt auch der Grund dafür, daß von vornherein keine Durchschnittsserien analysiert wurden. Das Einsetzen des II. Zyklus ist nach den bis-

herigen Ergebnissen offenbar lichtabhängig. In Abb. 12 sind vier aufeinanderfolgende Entwicklungsstadien des Kiefernkeimlings dargestellt, die das allmähliche Hervortreten der Primärnadeln erkennen lassen. Die in der Dunkelkammer bei verhältnismäßig schwachem Neon-Licht angezogenen Keimlinge zeigten selbst nach 3 Wochen noch nicht die aus dem Quirl der Kotyledonen sich entwickelnden Primärnadeln. Eine ähnliche Lichtabhängigkeit des Wachstums besteht offenbar auch für die Wurzel. Die

Plumula der Coniferen ist schon im Embryo des Samens angelegt (v. GUTTENBERG 8). Das Einsetzen des II. Zyklus ist hier also kein Maß für die organische Zeit. Weitere Untersuchungen zur Klärung der Abhängigkeit des Beginnes des Wachstums der Primärnadeln und damit vermutlich des II. Zyklus von der Lichtintensität werden zur Entwicklung einer exakten Untersuchungsmethodik durchgeführt werden müssen. Es wird sich dann zeigen, ob die beobachtete Erscheinung mit dem von LYSSENKO angenommenen „Lichtstadium“ in Zusammenhang gebracht werden kann.

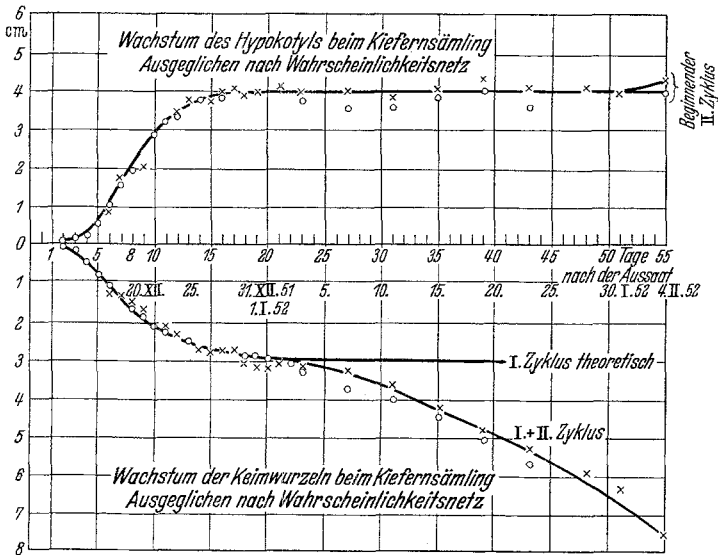


Abb. 7. Wachstum des Hypokotyls und der Keimwurzel des Kiefernkeimlings auf Nährlösung, beobachtete und ausgeglichene Werte.

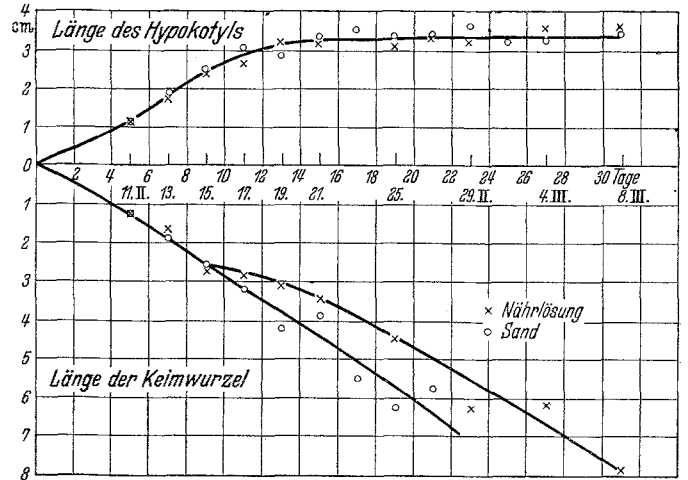


Abb. 10. Wachstum des Hypokotyls und der Keimwurzel, letztere auf Nährlösung und Sand.

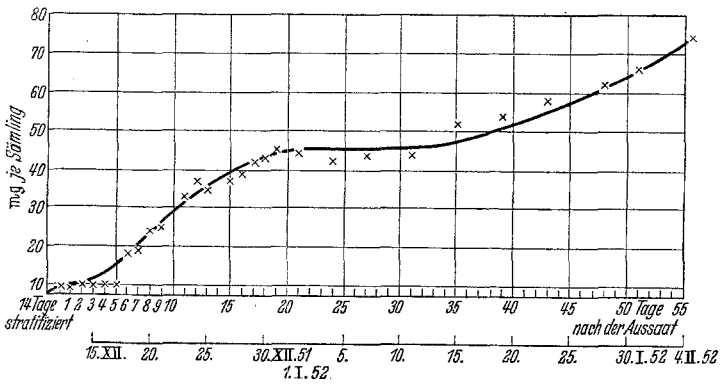


Abb. 8. Zunahme des Frischgewichts des Kiefernkeimlings.

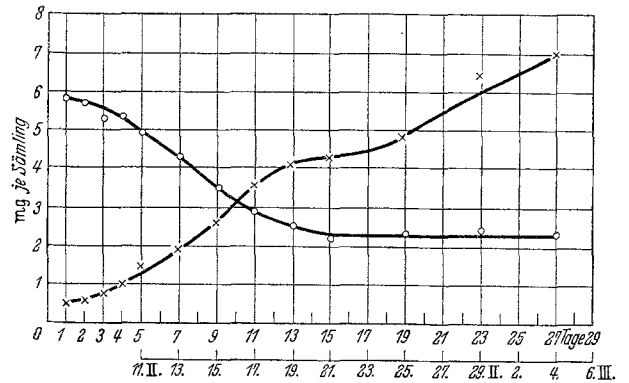


Abb. 11. Zunahme an Trockensubstanz, von Anfang an, jedoch ohne Samenschale und Nährgewebe, und Abnahme des Gewichtes von Samenschale und Nährgewebe.

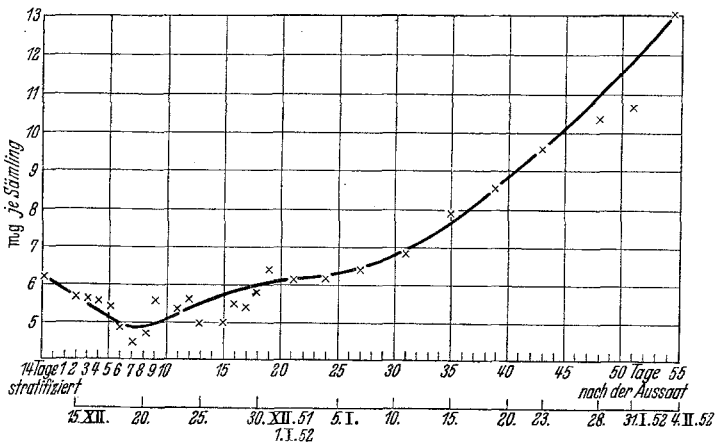


Abb. 9. Zunahme des Trockengewichtes des Kiefernkeimlings (unter Einbeziehung der Samenschale).

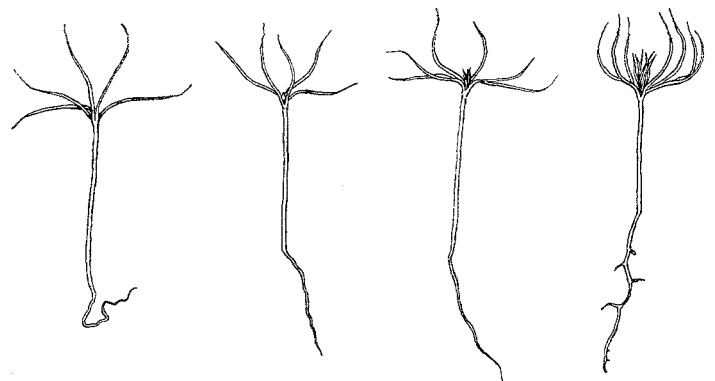


Abb. 12. Schematische Darstellung der Entwicklung des Kiefernkeimlings. Die Primärnadeln sind Elemente des II. Wachstumszyklus.

Modifikative Beeinflussung des Keimlingswachstums.

Abb. 13 zeigt den Einfluß des Keimungstages auf die Konstantenbildung. Die Konstanten sind in Tabelle 1 angegeben. Hier kann man keine erblichen Einflüsse annehmen, höchstens etwa die Ausbildung der Samenschale usw., die aber mit der erblichen Konstantenbildung selbst nichts zu tun haben. Wird z. B. durch eine abnorm starke Samenschale einer Nachkommenschaft das Erscheinen der Keimwurzel durch rein mechanische Hemmung verzögert, während der physiologische Prozeß der Keimung bereits weiter fortgeschritten ist, so wird sich dies in der Konstantenbildung bemerkbar machen, ohne daß man hierfür Wuchsgene verantwortlich machen könnte. Hier bildet die Wirksamkeit anderer Gene und vielleicht auch Umweltsbedingungen ein spezifisches Milieu für die eigentlichen Erbfaktoren des Wachstums. Ein anschauliches Beispiel bietet hierfür die Versuchsreihe 4 (Tab. 1). Natürlich kann man auch andere Einflüsse als die Ausbildung der Samenschale für ähnliche Erscheinungen verantwortlich machen. Interessant ist, wie über die Konstante c_2 der Vorsprung in der organischen Zeit der Sämlinge des 1. Keimungstages vor den Sämlingen der folgenden Tage verringert wird. Erst am 4. Tage ist offenbar diese Möglichkeit erschöpft. Hier liegen dann echte Spätkeimer vor, während vorher wahrscheinlich vor allem das Hervordringen der Keimwurzel verhindert war, die physiologischen Prozesse der Keimung aber schon ein späteres Stadium erreicht hatten. Hier, wie im folgenden ist zu beachten, daß die Werte für c_2 eigentlich im umgekehrten Verhältnis

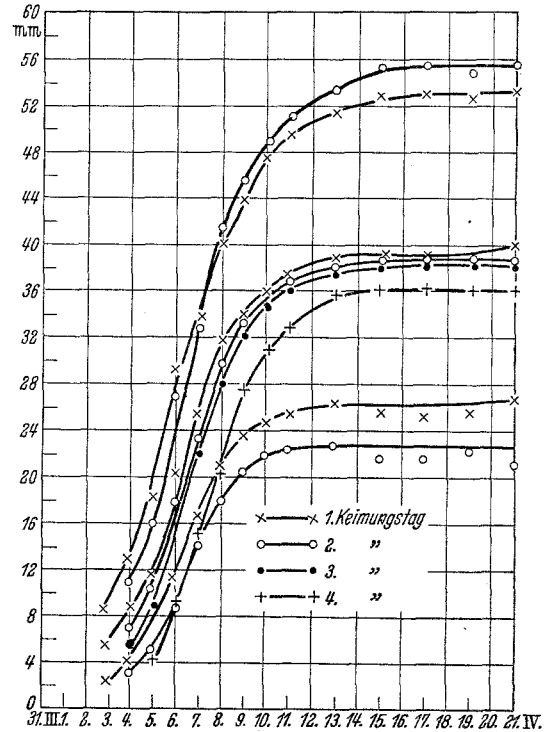


Abb. 13. Wachstum von Keimlingen, deren Samen an verschiedenen Tagen gekeimt ist. Die beiden oberen und unteren Randkurven geben den Bereich $M \pm 3s$.

Tabelle 1. Versuchsreihe 4. Keimlinge aus an verschiedenen Tagen gekeimten Samen. Mittel und S^2 .

	Endgröße		c_1		c_2	
1. Tag	39,6	0,430	1,08687	0,00015	4,10379	0,00779
2. Tag	38,5	0,486	1,20352	0,00047	4,34610	0,01408
3. Tag	38,4	0,343	1,21476	0,00035	5,12416	0,00865
4. Tag	36,2	0,419	1,32272	0,00035	4,72977	0,00799

Sicherung der Differenzen

	Endgröße		S_D	t	p
1-2	$D = +1,1$		0,957	1,15	23%
1-3	+1,2		0,879	1,37	16
1-4	+3,4		0,922	3,69	<0,1***
2-3	+0,1		0,910	0,11	92
2-4	+2,3		0,951	2,41	1,6*
3-4	+2,2		0,873	2,52	1,2*
c_1					
1-2	-0,11665		0,0249	4,68	<0,1***
1-3	-0,12789		0,0224	5,71	<0,1***
1-4	-0,23585		0,0224	10,53	<0,1***
2-3	-0,01124		0,0287	0,39	68,8
2-4	-0,11920		0,0287	4,15	<0,1***
3-4	-0,10796		0,0265	4,07	<0,1***
c_2					
1-2	-0,24231		0,109	2,22	2,8*
1-3	-1,02037		0,128	7,98	<0,1***
1-4	-0,62598		0,126	4,97	<0,1***
2-3	-0,77806		0,151	5,15	<0,1***
2-4	-0,38367		0,148	2,59	0,9**
3-4	-0,39439		0,129	3,06	0,2**

In den anderen Versuchsreihen werden nur noch die Differenzen mit zugehöriger Sicherung angegeben. Es bedeutet dann:

- * = P kleiner als 5 % = gesichert
- ** = P kleiner als 1 % = gut gesichert
- *** = P kleiner als 0,1 % = sehr gut gesichert

stehen müßten. c_2 ist in Wirklichkeit negativ, die bei uns höheren c_2 haben dann geringere numerische Werte. Es ist dies eine Folge der willkürlichen Wahl der Abszisse. Als Folgerung ergibt sich, daß man nur solche Samen zum Vergleich der erblich bedingten Wachstumsunterschiede verwenden kann, die zu gleicher Zeit gekeimt sind, daß man aber nicht zu engherzig zu sein braucht, da über c_2 eine gewisse Kompensation erfolgt. Wir haben bei unseren bisherigen Untersuchungen nur die am ersten Tag gekeimten Samen verwendet.

In Tabelle 2 sind die Konstanten von Keimlingen verglichen, die am 1. Tag gekeimt sind, am 3. Tag nach der Keimung aber unterschiedliche Hypokotyllängen aufwiesen. Umgekehrt zum vorigen Versuch nehmen hier die Konstanten c_2 mit abnehmender Endgröße ab. Nach dem oben Gesagten steigen die $|c_2|$ in Wirklichkeit. Im folgenden soll das auch stets so dargestellt werden. Gleichzeitig wurden Fichtenkeimlinge untersucht. Tatsächlich zeigt der I. Zyklus gleiche Konstantenrelationen Fichte-Kiefer wie die zugehörigen Ertragstafeln (III. Zyklus). In den Versuchen mit Einzelstammnach-

Tabelle 2. *Versuchsreihe 5. Keimlinge aus am gleichen Tag gekeimten Samen:*

1. Keimlinge mit langem Hypokotyl am 3. Tag nach der Keimung			
2. Keimlinge mit kurzem Hypokotyl am 3. Tag nach der Keimung			
3. Fichtenkeimlinge.			
Endgrößen:			
1. 42,7		Differenzen	+5,2*** 1-2
2. 37,5			+7,5*** 1-3
3. 35,2			+2,3*** 2-3
c_1			
1. 0,98733		Differenzen	-0,00610 1-2
2. 0,99343			-0,07117*** 1-3
3. 1,05850			-0,06507*** 2-3
c_2			
1. 4,85006		Differenzen	+0,80949*** 1-2
2. 4,04057			+2,49912*** 1-3
3. 2,35094			-1,68953*** 2-3

Als Vergleich die Konstanten der III. Zyklen aus den Ertragstafeln Schwappachs für Kiefer und Fichte:

	Kiefer	Fichte
c_1		
I. Bon.	+1,75275 (1,52759)	+1,95054
II. „	+1,70153 (1,52706)	+1,97526
III. „	+1,78391 (1,52673)	+1,96710
IV. „	+1,59035 (1,52633)	+1,96415
c_2		
I. Bon.	-3,01173 (2,59815)	-3,32276
II. „	-3,01682 (2,64096)	-3,48424
III. „	-2,72490 (2,68821)	-3,62013
IV. „	-2,89633 (2,74727)	-3,73761

Die Zahlen in den Klammern sind aus dem log. Wahrscheinlichkeitsnetz, die Zahlen davor aus der Zuwachskurve errechnet. Bei der Fichte sind alle Werte im WN ermittelt. Beim Vergleich mit den Werten der I. Zyklen sind die Vorzeichen zu beachten! Die dort angewandte Methodik ergibt stets positive Werte.

Tabelle 3.

Korrelationen aus Versuchsreihe 5.

1. Korrelation c_1/c_2	$\left\{ \begin{array}{l} c_1/c_2 = 0,415 \\ c_2/c_1 = 0,256 \end{array} \right.$
$r = -0,46^{**}$	
2. Korrelation $c_2/\text{Endgröße}$	$\left\{ \begin{array}{l} c_2/\text{Endgröße} = 0,578 \\ \text{Endgröße}/c_2 = 0,413 \end{array} \right.$
$r = -0,41^{***}$	
3. Korrelation $c_1/\text{Endgröße}$	$\left\{ \begin{array}{l} c_1/\text{Endgröße} = 0,57 \\ \text{Endgröße}/c_1 = 0,52 \end{array} \right.$
$r = +0,17$	

Tabelle 4.

Keimlinge aus Samen verschiedenen Gewichts.

Versuchsreihe 6.

1. 1000 Korn-Gewicht	9,373 g		
2. 1000 Korn-Gewicht	7,498 g		
3. 1000 Korn-Gewicht	4,899 g		
Endgrößen:			
1. 40,9		Differenzen	1-2 +2,4*
2. 38,5			1-3 +9,3***
3. 31,6			2-3 +6,9***
c_1			
1. 1,19447			1-2 +0,06662
2. 1,12785			1-3 +0,13988***
3. 1,05459			2-3 +0,07326*
c_2			
1. 4,01665			1-2 -0,75464***
2. 4,77129			1-3 -1,57944***
3. 5,59609			2-3 -0,82480***

kommenschaften sind stets Sämlinge verglichen worden, die am 3. Tag nach der Keimung gleiche Hypokotyl-längen aufwiesen. Man erreicht so eine Verringerung der Streuung, vermindert aber dabei u. U. schon erheblich erblich bedingte Unterschiede. Diese Frage bedarf noch genauerer Untersuchung.

In Tabelle 3 sind für diesen Versuch Korrelationskoeffizienten und Korrelationsverhältnisse errechnet worden. Wie zu erwarten, ist die Korrelation c_1 : Endgröße nicht gesichert. c_1 ist eben eine innerhalb der Art wenig variable Konstante und beeinflusst die Endgröße kaum. Die Korrelationsverhältnisse sind unterschiedlich, die Korrelation also nur annähernd linear. Man ist geneigt, dies auf die Verhältnisse der Konstanten (4) zurückzuführen, doch ist es sicher eine Folge des Samengewichts, das, wie der nächste Versuch beweist, in log. Funktion zur Endgröße und zu c_2 steht.

Auch in diesem Versuch zeigt sich (Tab. 4) eine enge Korrelation c_2 : Endgröße. Letztere ist natürlich mit dem Samengewicht korreliert. Der geringsten Endgröße entspricht das geringste c_2 (Vorzeichen!). Eine weitere Versuchsreihe ist mit verschiedenen Wuchsstoffkonzentrationen angesetzt worden. Die Unterschiede waren enorm, doch war der Versuch nicht exakt auszuwerten. Diese Frage ist bei Einzelstammnackommenschaftsvergleichen von größerer Bedeutung, da unterschiedlicher Harzgehalt entsprechend der Hemmstoffwirkung dieses Stoffes große Differenzen bedingen kann. (ROHMEDER 11).

Versuche zur Darstellung erblicher Unterschiede.

Bevor die Ergebnisse mitgeteilt werden, müssen zu deren Verständnis noch einige allgemeine Erläuterungen vorangeschickt werden. In einer früheren Arbeit (STERN 19) war festgestellt worden, daß Jugendwachstum und Altersleistung der Kiefer in der Regel negativ korreliert sind. Damals wurde bereits vermutet, daß der Unterschied zwischen den Konstanten der betreffenden Typen begründet sei durch das Konstantenverhältnis (4). Die Nachkommenschaften mit gesichert überlegener und unterlegener Jugendleistung waren weiter auf Unterschiede in der Höhenverteilung untersucht worden (STERN 18). Auch hier hatten sich Unterschiede in Schiefheit und Streuung nur zwischen den Gruppen gezeigt, nicht aber innerhalb derselben. Das Vorhandensein genetischer Unterschiede, die Wuchseigenschaften betreffend, war daraufhin für Nachkommenschaften der gleichen Gruppe verneint worden. Auch diesmal werden die-

selben Nachkommenschaften verglichen, unter Verwendung des Samens aus der Ernte Winter 1951—52. Alle Versuche haben nur den Charakter von Vorversuchen, weil die Eliminierung aller modifizierenden Milieufaktoren noch nicht mit genügender Genauigkeit möglich ist. Es war technisch nicht möglich, alle Nummern gleichzeitig in Vergleich zu stellen, deshalb sind immer 4 Nachkommenschaften in eine Versuchsreihe aufgenommen, davon je 2 aus jeder Gruppe. Die Gruppe mit schneller Jugendentwicklung ist durch +, die mit langsamer Jugendentwicklung durch — gekennzeichnet. In Tab. 5 sind die Konstanten einiger Versuchsreihen angegeben. Sie zeigten mit aller Deutlichkeit, daß die Versuchsordnung nicht gerade glücklich war. In den wenigsten Fällen konnten die an sich nicht großen Differenzen gesichert werden. Deshalb ist die Ursache der Differenzen aber doch nicht allein der Zufall, denn in den Wiederholungen der Versuchsreihen 7 und 8 ergaben sich gleiche Reihenfolgen. Der Grund für das Versagen der gewählten Anordnung liegt in der großen Streuung. Ein wesentlicher Grund für die Unmöglichkeit der Sicherung der Unterschiede liegt einmal in der Tatsache, daß sowohl für die seinerzeit durch von WETTSTEIN(20) angelegten Einzelstammabsaaten, auf Grund deren Wuchsleistungsunterschiede die Einteilung in + und — Nachkommenschaften vorgenommen wurde, wie auch zu unseren bisherigen Sämlingsuntersuchungen aus freier Bestäubung hervorgegangenes Saatgut verwendet wurde, und es ist nicht anzunehmen, daß in den einzelnen Jahren das gleiche Pollengemisch zur Bestäubung der Blüten zur Verfügung steht. Auch hatte in den WETTSTEINschen Versuchen zur Zeit der von uns durchgeführten Aufnahme nach 16 Jahren bereits eine starke natürliche Ausscheidung stattgefunden, die bei den einzelnen Versuchsnummern verschieden stark war. Hierdurch können neben an sich erblich schwachwüchsigen Formen auch viele Individuen mit modifikativ schwacher Jugendentwicklung ausgeschieden worden sein. Bei unseren Sämlingsuntersuchungen sind aber diese Typen miterfaßt worden. Die Sämlingseinzelstammnackommenschaften zeigen für die Konstanten c_1 und c_2 eine starke Variabilität. Aus den angegebenen Gründen glauben wir aus der verhältnismäßig guten Übereinstimmung der Einteilung der 16jährigen Einzelstammabsaaten und den in den Sämlingsuntersuchungen gefundenen Konstantenverhältnissen eine Bestätigung für die Richtigkeit der von uns bei den Untersuchungen gemachten Annahmen sehen zu können. Eine endgültige Bestätigung werden wir jedoch erst in einigen Jahren bekommen können. Die in der Dunkelkammer untersuchten Sämlinge sind im Anschluß an die Versuche im Gewächshaus weiter kultiviert worden und sollen später im Freiland ausgepflanzt und ihre jährliche Entwicklung weiterhin verfolgt werden.

Auf eine Wiedergabe der Ergebnisse auch der anderen Versuchsreihen wurde verzichtet. Tab. 6 gibt das Gesamtmittel aller Nachkommenschaftsversuche an, das sind insgesamt 6 Versuche, in denen allerdings nicht 12 Nachkommenschaften jeder Gruppe enthalten sind, sondern die Nachkommenschaften z. T. zweimal

Tabelle 5. Vergleich von Nachkommenschaften mit relativ schneller Entwicklung (+) und langsamerer Entwicklung (—). Die Nachkommenschaften sind ausgewählt aus dem Wettsteinschen Material nach den Leistungen der Nachkommenschaft und des Mutterbaumes.

Versuchsreihe 7.				
M48 +, M37 +, M76 —, M31 —				
Endgrößen:				
M48	49,4	Differenzen	1—2	+5,9**
M37	43,5		1—3	+1,0
M76	48,4		1—4	+8,2***
M31	41,2		2—3	—4,9*
			2—4	+2,3
			3—4	+7,2***
c_1				
M48	1,16916		1—2	—0,04144
M37	1,21060		1—3	—0,04541
M76	1,21457		1—4	—0,07074
M31	1,23990		2—3	—0,00397
			2—4	—0,02930
			3—4	—0,02533
c_2				
M48	3,51755		1—2	—0,27889
M37	3,79644		1—3	+0,29151
M76	3,22604		1—4	+0,11772
M31	3,39983		2—3	+0,57040
			2—4	+0,39661
			3—4	—0,17379

Versuchsreihe 8.

Nachkommenschaften M23 +, M46 +, M74 —, M82 —

Endgrößen:				
M23	42,7	Differenzen	1—2	+3,7***
M46	39,0		1—3	—2,1*
M74	44,8		1—4	+0,6
M82	42,1		2—3	—5,8***
			2—4	—3,1**
			3—4	+2,7*
c_1				
M23	1,50258		1—2	+0,02915
M46	1,47343		1—3	—0,14197***
M74	1,64455		1—4	+0,03207
M82	1,47051		2—3	—0,17112***
			2—4	+0,00292
			3—4	+0,17404***
c_2				
M23	3,09591		1—2	+0,23913
M46	2,85678		1—3	+1,54750***
M74	1,54841		1—4	+0,26102
M82	2,83489		2—3	+1,50837**
			2—4	+0,02189
			3—4	—1,28648***

Versuchsreihe 9.

Endgrößen:								
23 +	40,3	$S^2 = 0,39$	c_1	1,95817	0,00080	c_2	2,25356	0,01688
69 +	47,5	1,00		1,94796	0,00080		1,53853	0,02081
91 —	39,3	0,39		1,87089	0,00109		2,51803	0,02037
90 —	41,0	0,61		1,86537	0,00132		2,40998	0,03296

Versuchsreihe 11.

66 +	38,9	0,66	c_1	1,40768	0,00056	c_2	3,74495	0,01304
23 +	36,2	0,32		1,35066	0,000134		4,59005	0,02241
74 —	42,5	0,37		1,44058	0,00032		3,51376	0,01345
82 —	39,5	0,73		1,63271	0,00170		1,84924	0,08847

wiederkehren. Aus diesem Grunde wurde auf eine Auswertung mittels Streuungszerlegung verzichtet. Es zeigt sich aber deutlich, daß unsere Erwartungen zutreffen, wenn auch die Ergebnisse statistisch nicht gesichert sind: Die Endgrößen verhalten sich, wie es die Samengewichte erwarten ließen; dem höheren Samengewicht ist auch die größere Endgröße zugeordnet. Dagegen verhalten sich die Konstanten c_1 und

Tabelle 6. Zusammenfassung der Nachkommenschaftsversuche. Reihe 7-12.

1. Tausendkorngewichte.

$$\left. \begin{array}{l} +M = 5,9318 \text{ g} \\ -M = 5,4859 \text{ g} \end{array} \right\} D = + 0,4459 \quad t = 0,77$$

2. Endgrößen.

$$\left. \begin{array}{l} +M = 41,7 \text{ mm} \\ -M = 41,4 \text{ mm} \end{array} \right\} D = + 0,3 \quad t = 0,18$$

3. c_1

$$\left. \begin{array}{l} +M = 3,39305 \\ -M = 3,00176 \end{array} \right\} D = + 0,39129 \quad t = 0,72$$

4. c_2

$$\left. \begin{array}{l} +M = 1,51726 \\ -M = 1,55281 \end{array} \right\} D = - 0,03555 \quad t = 0,32$$

besonders c_2 umgekehrt, wie es der Versuch über die Wirksamkeit des Samengewichtes erwarten ließ. Hier ist offenbar ein anderes Moment für die Konstantenbildung mitbestimmend, das im Erbgut beider Gruppen zu suchen ist. Die errechneten Unterschiede zeigen die gleiche Richtung, wie sie der Theorie BACKMANS nach zu erwarten war. Damit ist zumindest ein Anreiz für die weitere Untersuchung dieser äußerst wichtigen Frage gegeben.

Die zweckmäßigste Anlage und Auswertung von Versuchen.

Nach den Erfahrungen an anderen Objekten, die ähnliche Probleme aufwerfen, kann hier die varianzanalytische Verrechnung weiterhelfen. In Zukunft wird also die nachfolgend beschriebene Anordnung gewählt werden: Je 12 Sämlinge jeder Prüfungsnummer werden zu einer Gruppe zusammengefaßt. Dieses ist nötig, weil das Quadrieren der Einzelwerte bei sechsstelligen Zahlen sehr belasten würde. Von diesen 12 Sämlingen werden jeweils die ersten 10 der bei Versuchsreihe vorhandenen gemittelt. Erfahrungsgemäß hat man mit 10% Ausfällen zu rechnen. Um nun den Gruppenmitteln gleiches Gewicht zu verleihen, müssen sie aus gleichen Beobachtungszahlen gebildet werden. Von jeder Prüfnummer werden mindestens 4, besser aber 6 derartige Gruppen gebildet. An den so erhaltenen Werten ist eine Streuungszerglegung leicht durchzuführen.

Ein weiterer Vorteil des Verfahrens liegt darin, daß gleichzeitig sehr viele Nummern ohne erheblichen Aufwand miteinander verglichen werden können. Man kann dann nämlich mit nur einer Gruppe jeder Nummer 4 oder 6mal nacheinander den gleichen Versuch durchführen und hat so die Möglichkeit, die durch nicht faßbare Korrelation variierten Versuchsmittel über die Kolonnenstreuung vergleichsfähig zu machen. Weiter erreicht man auf diese Art, daß die Zahl der

Kreuzungen (bei unten beschriebenen Verfahren) mit dem Standardvater niedriger gehalten werden kann und ebenso der Versuchsaufwand, da gleichzeitig mehr Kreuzungen mit anderen Vätern zusammen verrechnet werden. Sicherlich wird die Effektivität bei dieser Anordnung sehr viel größer sein. Prüft man gleichzeitig sehr viele Nummern, so hat man besonders auf die Gleichmäßigkeit der Licht- und Temperaturverhältnisse zu achten. Während der dreiwöchentlichen Versuchsdauer reagieren die Sämlinge auch auf sehr geringe Differenzen in der Lichtverteilung mit phototropischer Krümmung. Auch an Luftumwälzung ist in größeren Räumen zu denken.

Die anfallenden Arbeiten, Durchführung einschließlich Auswertung, sind in Waldsiedersdorf bei einem Versuchsumfang von 300 bis 400 Sämlingen je Serie von einer techn. Assistentin und 3 Hilfskräften geschafft worden. Nach einer gewissen Zeit des Einarbeitens ist eine Erweiterung auf 500 bis 600 Sämlinge durchführbar. Das entspricht 40 bis 50 Versuchsnummern in der angegebenen Anordnung. Die Dauer beträgt dann 4 oder 6mal 3 Wochen. Materialkosten entstehen nur bei einmaliger Anschaffung des Gerätes.

Bestimmung der organischen Zeit aus anderen Merkmalen.

Die BACKMANSche Theorie des Wachstums ordnet bestimmten organischen Zeiten einschneidende Ereignisse in der Entwicklung des Organismus zu. Es sind dies die Quantengrenzen

$$x = \pm \sqrt{\frac{n}{2}},$$

wobei n ganzzahlig ist. So bezeichnet

$$x = \sqrt{\frac{\sigma}{2}}$$

im III. Zyklus den Eintritt der Geschlechtsreife. In den vorgelagerten Zyklen haben diese Quantengrenzen andere Bedeutung. Für uns sind nur 2 Möglichkeiten der direkten Beobachtung von entscheidenden Entwicklungszuständen zugänglich: Die Zeit bei der Keimung sowie beim Unterbrechen der Nahrungszufuhr aus dem Nährgewebe. Doch hat auch dieses seine Schwierigkeiten. Der erste Zeitpunkt ist offenbar gänzlich ungeeignet, kann man doch die organische Zeit nur aus dem jeweils errechneten Prozentsatz der Endgröße errechnen. Diese aber ist außerordentlich modifizierbar. Versuche in dieser Richtung sind also von vornherein zwecklos.

Die zweite Möglichkeit ist schon eher zu erwägen. Allerdings steht als einziges Merkmal das Abfallen der Samenschale zur Verfügung. Dieses Ereignis tritt aber sicherlich erst längere Zeit nach Aufhören der Nahrungszufuhr ein. So kann es nicht überraschen, daß in den einzelnen Versuchen die organische Zeit des Abfallens der Samenschale eine andere ist:

Versuchsreihe 9			Versuchsreihe 11		
Nr.	M	S ²	Nr.	M	S ²
M23	+ 17,6	0,036	M46	+ 19,7	0,091
M69	+ 17,7	0,036	M23	+ 19,8	0,023
M91	- 16,5	0,027	M74	- 20,6	0,078
M90	- 17,4	0,035	M82	- 19,4	0,092

Die Werte geben die arithm. Ordinate an mit zugehörigen Quadraten des mittleren Fehlers. Innerhalb einer jeden Versuchsreihe sind sie recht einheitlich, so daß man schließen muß, daß die organische

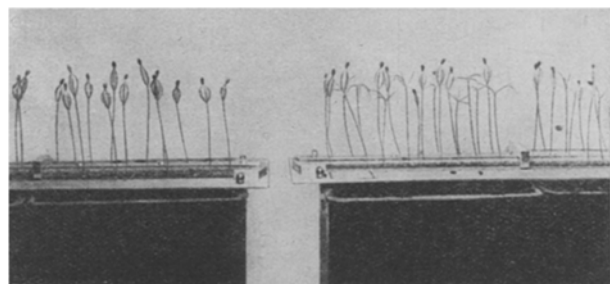


Abb. 14. Abwerfen der Samenschale aus Versuchsreihe 8. Links die beiden Nachkommenschaften mit langsamer Jugendentwicklung haben noch kaum abgeworfen, während die rechten (+) Nachkommenschaften bereits zu einem großen Teil abgeworfen haben.

Zeit des Abfallens in großem Maße milieuhängig ist. Das sagt aber noch nichts aus über das tatsächliche Aufhören der Nährstoffzufuhr. Die Konstanten c_2 gehen in vielen Fällen parallel mit dem tatsächlichen Zeitpunkt des Abfallens. Abb. 14 gibt die Versuchsreihe 8 wieder, die beiden rechten Nachkommenschaften M 23 + und M 46 + haben schon zu einem großen Teil abgeworfen, M 74 — und M 82 — links davon noch nicht. Für die Versuchsreihe 9 wird nachfolgend ein ähnliches Ergebnis angeführt:

Versuchsreihe 9

M 23 + 221,24 Std. bis zum Abfall	$c_2 = 2,25356$
M 69 + 231,77 „ der Samenschale	1,53853
M 91 — 213,71 „	2,51803
M 90 — 228,97 „	2,46998.

Hier ist im Falle M 69 die Korrelation gut ausgeprägt.

Die wirkliche organische Zeit des Unterbrechens der Nahrungszufuhr liegt möglicherweise bei

$$x = + \sqrt{\frac{2}{2}} \quad \text{oder} \quad x = + \sqrt{\frac{3}{2}} ,$$

jedenfalls kommen diese Quantengrenzen unseren Ergebnissen nahe. Nur sind hier noch keine einwandfreien Resultate vorhanden, doch wird sich diese Arbeit lohnen, denn es ist damit eine erhebliche arbeitsmäßige und rechnerische Entlastung des Verfahrens verbunden.

E. Besprechung der Ergebnisse.

Die Versuche tragen, es wurde dies schon vermerkt, durchweg den Charakter von Vorversuchen. Lediglich der Nachweis, daß überhaupt Unterschiede in der erwarteten Richtung vorhanden sind, interessierte zunächst. Dieser Nachweis ist nach den Ergebnissen der Nachkommenschaftsvergleiche als geglückt anzusehen. Gleichzeitig wurden die einfachen Gesetzmäßigkeiten des Einflusses der Milieufaktoren gezeigt. Für eine direkte Nachkommenschaftsbeurteilung allerdings ist das Verfahren noch nicht geeignet. Der Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen Beschaffenheit des Samens nach Gewicht, Samenschale, Harzgehalt usw., wie er besonders zwischen Samen verschiedener Mütter auftritt. Auch die Witterung bis zur Samenreife muß hier eine Rolle spielen. BÜNNING (4) gibt an, daß die Temperatur bis zur Samenreife auf das Wachstum der nächsten Generation erheblichen Einfluß haben kann. Auch die verschiedenen Umweltsbedingungen können einen modifizierenden Einfluß auf die Entwicklung und möglicherweise auch auf den Wachstumsgang der Sämlinge ausüben. Nach BÜNNING (4) wird die Entwicklung der Keimpflanzen von *Phaseolus multiflorus* durch Temperatureinwirkung auf die Embryonen beeinflusst. Höhere Temperaturen fördern die Zellteilungen im Epikotyl der jungen Embryonen, so daß diese zur Zeit der Samenreife größer als bei Einwirkung niedrigerer Temperaturen sind. Ganz entsprechende Längenverhältnisse zeigen auch die Epikotyle der jungen Keimpflanzen. Auch die einzelnen Zapfen eines Baumes können während des Reifungsprozesses je nach der Stellung derselben in der Baumkrone, sei es, daß sie an der Süd- oder Nordseite oder im oberen oder unteren Kronenteil stehen, unter-

schiedlichen Temperaturen ausgesetzt sein. Ja selbst in den einzelnen Zapfen können auf der der Sonne zugewandte Seite höhere Temperaturen auf die wachsenden Embryonen einwirken als auf der Schatten-seite. Auch die Verharzung der verschiedenen Zapfen und einzelnen Samenanlagen eines Zapfens kann verschieden sein. Die unterschiedliche Samengröße innerhalb eines Zapfens ist sicher eine Folge der verschiedenen äußeren Einflüsse, die damit auch die Entwicklung der aus den einzelnen Samenanlagen sich entwickelnden Embryonen und Sämlinge verschieden beeinflussen können. In den kommenden Untersuchungen soll versucht werden, durch genaue Gewichtskontrolle der verwendeten Samen sowie Berücksichtigung des Standortes der Zapfen in der Baumkrone wie der Stellung der einzelnen Samen in den Zapfen die Einflüsse der Summe der verschiedenen Umweltseinflüsse auf die Entwicklung der Embryonen und Sämlinge zu klären. Geeignetes Samenmaterial für diese Untersuchungen glauben wir nach dem von STADLER (16) in der Maiszüchtung entwickelten Verfahren der Gametenselektion, das seit 1950 von SCHRÖCK in Waldsiefersdorf in der Kiefernzüchtung angewendet wird und das darin besteht, die zu prüfenden Einzelbäume alle mit der gleichen Mutter zu kreuzen, zu erhalten. Derartiges Saatgut wird allen Ansprüchen weitgehend gerecht. Ein weiterer Faktor der auf diese Art ausgeschaltet werden kann, ist die unterschiedliche Zeit, die Samen verschiedener Bäume bis zur Reife benötigen (STEFANSSON 17, SCHRÖCK 14). Auch dies hat nach den Beobachtungen von BÜNNING (4) und GREGORY und PURVIS (7) sicher modifizierenden Einfluß auf das Wachstum und vielleicht den Wachstumsgang der einzelnen Individuen.

Die ersten Prüfungen an Kreuzungen mit Pollen der hier verwandten WETTSTEINschen Mutterbäume, deren Wuchseigenschaften uns bekannt sind, können erst in 2 Jahren durchgeführt werden. Aus diesem Grunde entschlossen sich Verfasser schon jetzt zur Veröffentlichung der bisherigen Ergebnisse. Bis dahin werden die theoretischen Untersuchungen weitergeführt.

Auch der praktische Waldbau könnte vom Verfahren des Keimlingstestes profitieren, denn es wäre erstmalig möglich, populationsgenetische Untersuchungen ganzer Bestände durchzuführen und Aufschlüsse zu erhalten, die man anders schwerlich erhalten könnte. Für die Forstpflanzenzüchtung wäre dem Züchter die Prüfung großer Zahlen von Zuchtbäumen möglich und damit die Vorselektion ungemein erleichtert. Abnorme Konstantenkorrelationen würden hier Hinweise auf besonders günstige oder ungünstige Verhältnisse geben. All dies rechtfertigt eine intensive Weiterführung der Arbeiten, die nicht nur auf die Kiefer beschränkt bleiben dürfen.

Ob sich schließlich für die Endgrößen c_0 -Werte errechnen lassen, die Rückschlüsse auf die Endgrößen der III. Zyklen erlauben, kann noch nicht gesagt werden. BACKMAN (3) hat nachgewiesen, daß in großem Durchschnitt der hauptsächlichsten Arten der Waldbäume diejenigen die höchsten Endgrößen aufweisen, bei denen die Summe der Endgrößen der I. und II. Zyklen relativ am geringsten war. Aber auch dann verliert das Verfahren keineswegs an Wert, wenn lediglich der Wachstumsrhythmus getestet werden kann, ausgedrückt durch die Kennziffern für c_1 und c_2

Zusammenfassung.

1. Auf der Grundlage der BACKMANSCHEN Theorie über Wachstum und Entwicklung der Organismen wird vorerst für die Kiefer ein Wachstumstest entwickelt. Seine Voraussetzung ist die Annahme, daß spezifische Genmanifestationen, das Wachstum betreffend, schon im Keimlingszyklus vorliegen müßten.

2. Ein Rechenverfahren wird beschrieben, das Kennziffern für den Wachstumsrhythmus objektiv und einfach zu ermitteln erlaubt.

3. An Hand von Versuchen werden Einfluß und Richtung von Milieu- und Erbfaktoren für die Kiefer diskutiert.

4. Möglichkeiten zur Verbesserung und Vereinfachung der Versuchsanstellung und Auswertung sowie der Erzeugung des Ausgangsmaterials werden gezeigt.

Literatur.

1. BACKMAN, G.: Wachstum und organische Zeit. *Bios* 15, Leipzig 1943. — 2. BACKMAN, G.: Das Gewichtswachstum des Mannes. *Roux' Archiv* 1940, S. 285—319. — 3. BACKMAN, G.: Das Wachstum der Bäume. *Roux' Archiv* 1942, S. 455—499. — 4. BÜNNING, E.: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie Bd. II u. III. Springer, Berlin 1948. — 5. DAEVES, K. und BECKEL, A.: Großzahlforschung und Häufigkeitsanalyse. Verlag Chemie G. m. b. H., Weinheim u. Berlin 1948. — 6. EDLEN, A.: Wachstum und Milieu bei *Daphnia magna*.

A. B. Glerupska Univ. Bokhdl. Lund 1943. — 7. GREGORY u. PURVIS: zitiert nach BÜNNING (4). — 8. v. GUTTENBERG, H.: Lehrbuch der allgemeinen Botanik. Akademie-Verlag, Berlin 1952. — 9. KARSCHON, R.: Untersuchungen über die physiologische Variabilität von Föhrenkeimlingen autochthoner Populationen. *Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. Forstl. Versuchswesen*. XXVII, S. 205—244, 1949. — 10. MARCET, E.: Pollenuntersuchungen an Föhren (*Pinus silv. L.*) verschiedener Provenienzen. *Mitt. XXVII*, 1951. — 11. ROHMEDER, E.: Beiträge zur Keimungsphysiologie der Forstpflanzen. *Bayrischer Landwirtschaftsverlag*, München 1951. — 12. SCHMIDT, W.: Jahresbericht d. Hauptausschusses f. Forstl. Saatgutenerkennung 1935. — 13. SCHRÖCK, O.: Beitrag zur Methodik der Leistungsprüfungen in der Forstpflanzenzüchtung. *Züchter* 21, S. 368—370, (1951). — 14. SCHRÖCK, O.: Individuelle Unterschiede in der Samenreife und Keimungsphysiologie der Kiefer (*Pinus silvestris L.*). *Züchter*. In Vorbereitung. — 15. SCHRÖCK, O. und STERN, K.: Untersuchungen zur Frühbeurteilung der Wuchsleistung unserer Waldbäume, zugleich ein Beitrag zur Pappelzüchtung. *Züchter* 22, S. 134—143, 1952. — 16. STADLER, L. I.: Gamete selection in Corn breeding (Abstract). *Journ. Amer. Soc. Agr.* 36, S. 988—989, (1944). — 17. STEFANSSON, E.: Preliminär sammanfatning av resultat vid klängning av tallkott vid Sundmo. Manuskript 1952. — 18. STERN, K.: Möglichkeiten zur Kennzeichnung von Differenzen in der Höhenverteilung bei Kiefernselektionsversuchen v. WETTSTEINS. *Züchter* 22, S. 180—189, (1952). — 19. STERN, K.: Methodik der Beurteilung von nach der Langparzellenmethode angelegten Einzelstammnackkommenschaften der Kiefer. *Züchter* 23, S. 1—16, 1952. — 20. v. WETTSTEIN, W.: Selektion von Kiefern nach 4 Jahren. *Züchter* 19, S. 205—206, 1949.

(Aus dem Botanischen Institut der Universität Köln.)

Eine Eintauchmethode zur Colchicinbehandlung.

Von KARL ESSER.

Mit 2 Textabbildungen.

Die Behandlung von Pflanzen nach den üblichen Colchicinierungsmethoden ist oft mit Nachteilen verbunden. Bei der Wattebauschmethode läßt sich ein Austreiben von diploiden Seitensprossen unterhalb des behandelten Vegetationspunktes nicht vermeiden. Die Samenbehandlung, die vorwiegend bei Gramineen angewandt wird, bewirkt einen großen Prozentsatz von letalen Pflanzen, da die Wurzeln durch das Alkaloid geschädigt werden. Um diese Nachteile zu vermeiden, haben wir nach einer Methode gesucht, den gesamten Sproß des jungen Keimlings möglichst vor der Entfaltung der Primärblätter so mit Colchicin zu behandeln, daß die Wurzeln von dem Alkaloid nicht in Mitleidenschaft gezogen werden.

1. Beschreibung der Methode und Beispiele zu ihrer Anwendung.

a) Dikotyle Pflanzen.

Ein flacher Blumentopf mit einem Durchmesser von etwa 20 cm wird bis zu 3 mm unterhalb des Randes mit fein gesiebter Mistbeeterde gefüllt. Mitten in den Topf drücken wir in die weiche Erde das Unterteil einer Petrischale (P) (Durchmesser ca. 7 cm) soweit ein, bis oberer Schalenrand und Erde auf gleicher Höhe abschließen. Dicht um den Rand der Petrischale säen wir im Abstand von 1 cm die Samen der zu behandelnden Pflanzen in einem Kreis aus. Nach vorsichtigem Anfeuchten des Keimbettes (kein Wasser in die Petrischale!) legt man eine Glasplatte (Pl) über

den Blumentopf, welche diesen ganz bedeckt (Abb. 1, links). Da zwischen Glasplatte und Erde nur ein Abstand von wenigen Millimetern vorhanden ist, werden im Verlauf der Keimung die Sproßspitzen der Pflanzen in horizontale Richtung gedrückt. Mit einer feinen Pinzette richtet man nach kurzem Abheben der bedeckenden Glasplatte die Keimspitzen so aus, daß sie

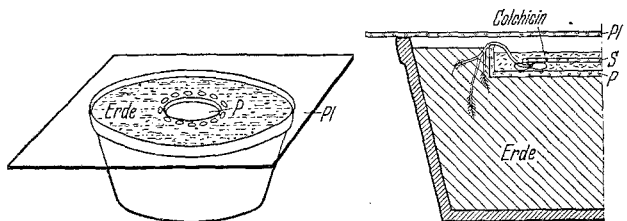


Abb. 1. Colchicinbehandlung von Dicotylen-Keimlingen. Links: Anordnung der Samen um die im Blumentopf versenkte Petrischale (P). Die Kultur ist mit einer Glasplatte (Pl) bedeckt. Rechts: Hälfte eines schematischen Schnittes durch Blumentopf und Petrischale (P). Durch eine Glasscheibe (S) wird der Vegetationspunkt des Keimlings unter dem Spiegel der Colchicininlösung gehalten. Die Glasplatte (Pl) bedeckt die Kultur.

in Richtung der Petrischalenmitte wachsen. Wenn die jungen Pflanzen etwa 2—3 cm lang und alle über die leere Petrischale gewachsen sind, werden sie vorsichtig mit einer runden 1—2 mm dicken Glasscheibe (S), deren Durchmesser um 2 cm geringer ist als der der Petrischale, belastet und so auf den Grund der Schale gedrückt (Abb. 1, rechts). Jetzt gießen wir soviel wässrige Colchicininlösung in die Petrischale bis die Glasscheibe und somit die Vegetationspunkte der