Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 45 (1936)

Artikel: Variationsstatistisches zur Samenkeimung

Autor: Koblet, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-30313

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 06.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Variationsstatistisches zur Samenkeimung.

Von *R. Koblet.*

(Aus der Eidg. Landw. Versuchsanstalt, Abteilung Samenkontrolle, Zürich-Örlikon.
Mitgeteilt an der Frühjahrsversammlung der Schweiz. Bot. Gesellschaft, vom 7. April 1935, in Schaffhausen.)

Eingegangen am 1. September 1935.

Bei der Aussaat von Sämereien oder bei der Durchführung von Keimkraftversuchen macht man immer wieder die Beobachtung, dass die einzelnen Individuen einer Samenprobe nicht gleichzeitig zur Keimung gelangen. Wenn wir die gekeimten Samen regelmässig auszählen und die nach verschiedenen Zeiten erhaltenen Gesamtergebnisse als Funktion der Zeit graphisch darstellen, erhalten wir häufig eine S-förmige Kurve; d. h. die Keimung setzt langsam ein, wird allmählich rascher, erreicht dann ein Maximum der Geschwindigkeit und kommt schliesslich allmählich zum Stillstand (vgl. Fig. 1). Die Keimung von Samenproben nimmt also in vielen Fällen einen ähnlichen Verlauf wie das Wachstum einzelner Pflanzen oder Pflanzenorgane. Diese äussere Übereinstimmung hat verschiedene Autoren veranlasst, die für den

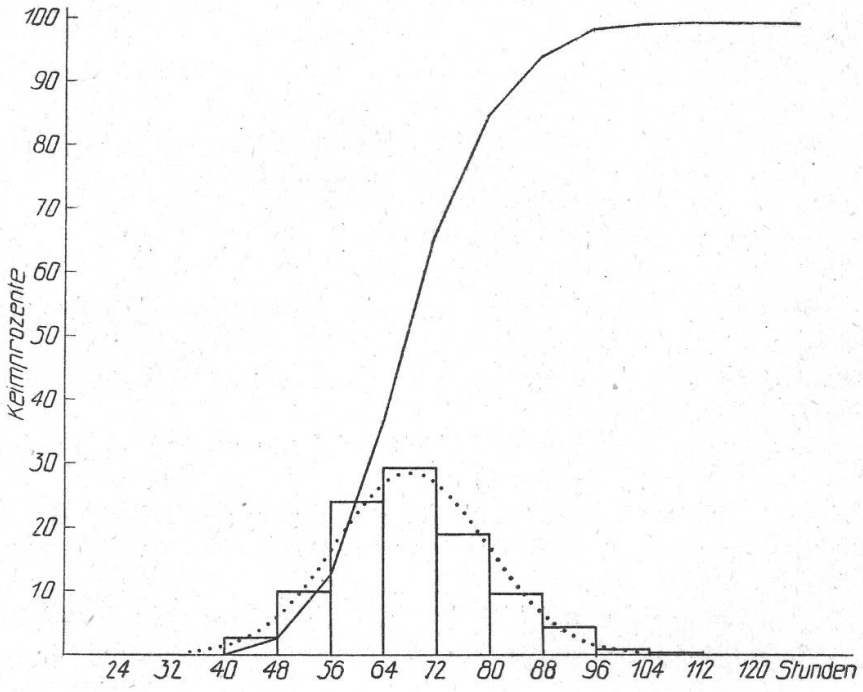

Fig. 1.

Keimung von Original-Rothenbrunnerweizen von Cazis (Graubünden), Ernte 1932, bei 19° C.

Wachstumsverlauf aufgestellten mathematischen Formulierungen auch auf die Samenkeimung anzuwenden. So hat K. Meyer (1928 a) zeigen können, dass bei der Keimung von Weizen die experimentell gefundenen Werte mit den nach dem Wachstumsgesetz von Robertson errechneten ziemlich gut übereinstimmten. Anderseits haben Porodko (1927), Niethammer (1927) und Aksentjev (1931) eine Formel verwendet, die eine dem Mitscherlichschen Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren entsprechende Kurve ergibt.[1]

Wenn auch die auf Grund der Wachstumsgesetze berechneten Kurven dem beobachteten Keimungsverlauf in vielen Fällen recht gut folgen, muss man sich doch bewusst bleiben, dass der Verlauf der Keimung einer Samen*probe* seinem Wesen nach mit dem Wachstum nichts zu tun hat. Die Keimungskurve ist nicht der Ausdruck eines Wachstumsvorganges; sie kommt vielmehr dadurch zustande, dass die einzelnen Individuen einer Samenprobe eine ungleiche Zeit zum Auskeimen benötigen. Diese Tatsache, auf die übrigens auch K. Meyer (1928 b) hingewiesen hat, kommt in der graphischen Darstellung besser zum Ausdruck, wenn wir als Ordinate nicht die jeweils erreichte Gesamtzahl der Keimlinge, sondern nur die in den einzelnen Zeitabschnitten beobachtete Zahl eintragen. Wir erhalten so beispielsweise die in Fig. 1 eingezeichnete Treppenkurve. Diese zeigt, dass die Samen, die unter den gegebenen Bedingungen in 64—72 Stunden keimten, in der vorliegenden Weizenprobe am stärksten vertreten sind, während sowohl die rascher als auch die langsamer keimenden Individuen nur in geringerer Zahl auftreten. Die für die einzelnen Samen erforderliche Keimungszeit schwankt also um einen gewissen Mittelwert, und zwar erhalten wir eine Verteilungskurve, die schon auf den ersten Blick eine

---

[1] Diese zuerst von Porodko für die Samenkeimung angewendete Formel lautet:

$$y = y\infty \left[1 - e^{-k(t-t_0)}\right]$$

wo y den Prozentsatz der nach der Zeit t gekeimten Samen, $y\infty$ (bei Niethammer y_0) die totale Keimfähigkeit, t_0 die Zeit des Keimungsbeginns und k (bei Niethammer α) eine Konstante bedeutet. Diese Formulierung, welche das anfänglich langsame Ansteigen der Keimungskurve vernachlässigt, ist von K. Meyer (1928 b) durch Einführung einer weiteren Konstanten in die Gleichung

$$y = y_0 \left[1 - 10^{-\alpha(t-t_0)^n}\right]$$

abgeändert worden. Diese Formel, in der übrigens aus praktischen Erwägungen die Grundzahl der natürlichen Logarithmen durch die der dekadischen ersetzt ist, entsprach dem von Meyer untersuchten Material noch besser als die Wachstumskurven von Robertson und Baule. Sie hat den Vorteil, dass das Maximum der Steigung je nach der Grösse der Konstanten n verschiebbar ist, und trägt dadurch dem Umstand Rechnung, dass das Maximum der Keimungsgeschwindigkeit sehr häufig erreicht wird, bevor die Hälfte der Samen gekeimt hat (vgl. die Schiefheit unserer Variationskurven).

Tabelle 1.

Keimung von Original-Rothenbrunnerweizen von Cazis (Graubünden), Ernte 1932, bei 19° C.
Keimungsversuch mit 1200 Samen. Versuchsbeginn 18. März 1933.

Keimungszeit in Stunden . .	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112
Zahl der gekeimten Samen, beobachtet	32	119	287	350	227	114	52	9	3	
berechnet[1]	35	121	257	334	266	129	38	7	1	
Keim % beobachtet	2,7	9,9	23,9	29,2	18,9	9,5	4.3	0,8	0,3	
„ berechnet	2,9	10,0	21,4	27,8	22,1	10,7	3,2	0,6	0,1	

Ähnlichkeit mit der Gauss'schen Fehlerkurve erkennen lässt. In der Tat zeigt die genaue Berechnung, dass die Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den auf Grund der Fehlerkurve berechneten Werten eine recht gute ist (Tabelle 1 und Fig. 1). Die Keimungszeit ist also im vorliegenden Fall einer ähnlichen Variation unterworfen wie z. B. Gewicht, Grösse und andere messbare Eigenschaften einer Population. Dass diese Variation auftritt, ist durchaus begreiflich. Die einzelnen Körner eines Getreidefeldes entwickeln sich — je nach ihrer Stellung in der Ähre und je nach dem Standort der Mutterpflanze — unter etwas verschiedenen Bedingungen; sie sind während der Entwicklung, der Reife und der Aufbewahrung einer grossen Zahl von Einflüssen ausgesetzt, die zu einer ungleichen Ausbildung von Embryo, Endosperm und Schale führen. Die Variation der Keimungszeit lässt sich leicht erklären als Folge der variierenden Eigenschaften der einzelnen Samen und ihrer Teile, die in wechselnder Kombination bald beschleunigend bald verzögernd auf die Keimung einwirken.

Ich möchte im folgenden an Hand von Beispielen zeigen, wie sich diese Variabilität bei verschiedenen Samenproben und unter verschiedenen Keimungsbedingungen äussert. In Fig. 2 sind Keimungsverlauf und Verteilungskurve der bereits erwähnten Weizenprobe bei 5° C eingezeichnet. Die Karyopsen wurden hier wie im erstgenannten Versuch dann als gekeimt betrachtet, wenn sie normale Wurzeln entwickelt und die Koleoptilen eine Länge von 3 mm erreicht hatten.[2] Aus Fig. 2 geht

---

[1] Die Berechnung erfolgte auf Grund der Formel $y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$, wo N (die Gesamtzahl der gekeimten Samen) = 1193, σ = 1,424 Klassenspielräume (= 11,39 Stunden) und der Mittelwert M = 68,27 Stunden beträgt.

[2] Die Keimungsdauer, wie wir sie bestimmt haben, setzt sich also zusammen aus der Zeit vom Einquellen bis zum Beginn des Wachstums und der Zeit, welche für die Verlängerung der Koleoptile auf 3 mm erforderlich ist. Da die Wachstumsgeschwindigkeit der Koleoptile selber bis zu einem gewissen Grade variiert, wird die in unseren Versuchen ermittelte Variation etwas verschieden sein von derjenigen, die sich ergeben würde, wenn man bei der Kontrolle der

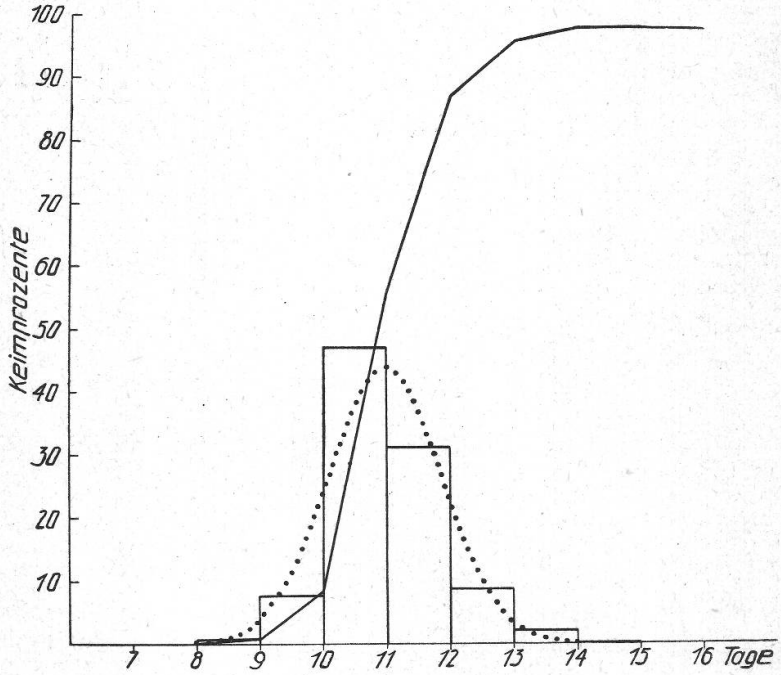

Fig. 2.

Keimung von Original-Rothenbrunnerweizen, Ernte 1932, bei 5° C. Keimungsversuch mit 600 Samen. Versuchsbeginn 2. März 1933.

Versuche jeweils alle Samen mit eben wahrnehmbarem Wachstum als gekeimt betrachtet hätte, wie es z. B. K. Meyer tat. Dass aber auch im letzteren Fall — abgesehen von der zeitlichen Verschiebung — eine im grossen und ganzen ähnliche Variationsreihe beobachtet werden kann, geht aus folgender Zusammenstellung hervor, welche die Ergebnisse eines mit Wagenburger Sommerweizen der Ernte 1932 durchgeführten Versuches wiedergibt (Versuchsbeginn 27. März 1933, Keimungstemperatur 19° C, Zahl der untersuchten Samen 600).

Zeit in Stunden . .	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
Samen mit eben wahrnehmbarem Wachstumsbeginn										
beobachtet % .	0,0	14,0	44.3	27,2	11,8	1,7	0,3	0,3	0,2	
berechnet[1] % .	2,0	13,8	35,5	34,1	12,3	1,7	0,1	0,0	0,0	

Zeit in Stunden . .	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128
Keimlinge mit 3 mm langer Koleoptile												
beobachtet % .	0,0	8,2	25,2	37,5	19.7	7,3	0,7	0,5	0,0	0,2	0,2	
berechnet[2] % .	1,3	8,0	23,8	33,9	23,3	7,7	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	

[1] M = 31,7 Std., σ = 8,09 Std. [2] M = 67,9 Std., σ = 9,34 Std.

Wir haben für unsere übrigen Versuche das 2. Stadium (d. h. eine bestimmte Länge der Koleoptile oder bei andern Arten des Würzelchens) gewählt, weil sich dieses im allgemeinen genauer erkennen lässt als der Wachstumsbeginn, und weil dieses Vorgehen eine bessere Gewähr dafür bietet, dass allfällig vorhandene nicht entwicklungsfähige Keimlinge als solche erkannt und nicht zu den gekeimten Samen gezählt werden.

Tabelle 2.
Keimung von Usterapfelsamen, Ernte 1933, von Watt (Zürich), bei 6° C.
Keimungsversuch mit 6×50 Samen. Versuchsbeginn 27. Oktober 1933.

Anzahl Tage	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195
Gekeimte Samen in %										
beobachtet	0,7	22,0	34,7	22,7	9,0	3,3	1,0	1,0	0	
berechnet nach der Gleichung für die Gausssche Fehlerkurve[1] .	4,6	16,2	29,3	27,2	12,8	3,1	0,4	0	0	
berechnet unter Berücksichtigung der Schiefheit[2]	3,2	21,5	34,0	20,7	9,2	4,9	1,5	0,2	0	

hervor, dass die Keimung bei 5° C bedeutend später einsetzte und langsamer vorwärtsschritt als bei 19° C. Die Variabilität in bezug auf die Keimungszeit tritt auch bei 5° in Erscheinung, und zwar folgen die beobachteten als Treppenkurve eingezeichneten Werte ziemlich gut der idealen Variationskurve. Immerhin zeigt sich insofern eine gewisse Verschiebung, als die zwischen 10 und 11 Tagen keimenden Samen etwas stärker vertreten sind, als nach der Theorie zu erwarten wäre.

Eine ähnliche Variation lässt sich, wie Tabelle 2 und Fig. 3 zeigen, auch bei Apfelsamen beobachten, wenn der Keimkraftversuch lange genug ausgedehnt und bei einer Temperatur durchgeführt wird, die ein vollständiges Auskeimen dieser etwas delikaten Samenart ermöglicht. Die in Frage stehende Probe keimte bei einer konstanten Temperatur von 20° C überhaupt nicht, ergab aber bei 6° C in 180 Tagen eine Keimfähigkeit von 94,3 %. Der grösste Teil dieser Probe keimte bei 6° C zwischen 90 und 105 Tagen, während die Samen mit kürzerer und längerer Keimungsdauer seltener sind. Im Vergleich mit der theoretischen Kurve zeigt sich auch hier wieder eine Verschiebung des beobachteten Maximums nach links, d. h. die Kurve besitzt einen steil ansteigenden und einen länger ausgezogenen abfallenden Ast. Berechnen wir die sogenannte Schiefheitsziffer, indem wir nach der Definition von Johannsen das Mittel der 3. Potenzen der Abweichungen durch die 3. Potenz der Standardabweichung dividieren, erhalten wir beim vorliegenden Keimungsversuch mit Apfelsamen die Zahl + 1.045, was eine verhältnismässig starke positive Schiefheit bedeutet.[3] (Bei den früher erwähnten Versuchen mit Rothenbrunner Weizen beträgt die Schiefheitsziffer + 0.302 bei 19° C bzw. + 0.382 bei 5° C.) In Fig. 3 ist die unter Berücksichtigung der Schiefheit berechnete Frequenzkurve eben-

[1] M = 103,27 Tage, σ = 1,220 Klassenspielräume (= 18,3 Tage), N = 283 (entsprechend einer totalen Keimfähigkeit von 94,3 %).

[2] Diese Zahlen wurden mit Hilfe der Werte der Funktion φ_3 (x) (Charlier 1920 Tab. IV, S. 124) berechnet; der Koeffizient β_3 betrug —0,174.

[3] Nach der von Charlier (1920) angegebenen Definition würde die Schiefheit S im vorliegenden Fall —0,522 betragen.

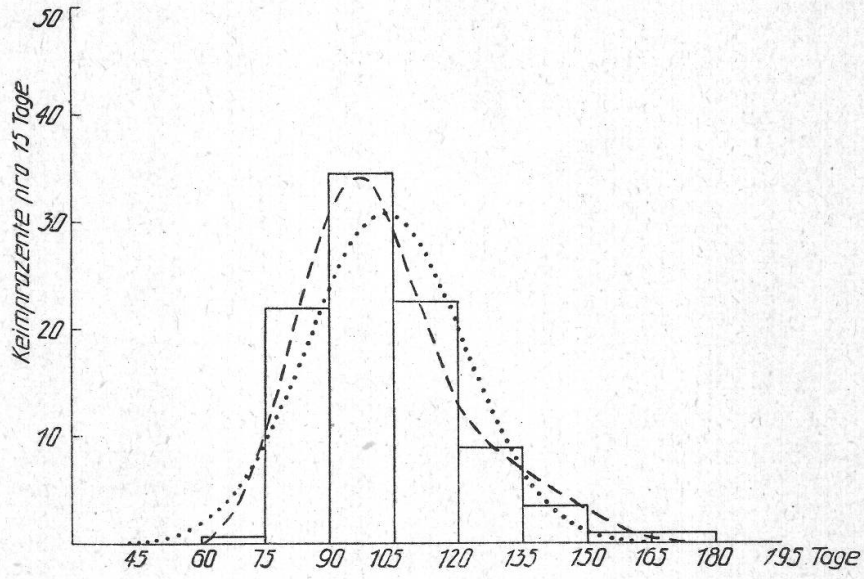

Fig. 3.

Keimung von Usterapfelsamen von Watt (Zürich), Ernte 1933, bei 6° C.

..... Normalkurve;

———— unter Berücksichtigung der Schiefheit berechnete Frequenzkurve.

falls eingezeichnet worden; diese stimmt, wie übrigens zu erwarten ist, besser mit den beobachteten Werten überein als die Normalkurve.

Im Gegensatz zu den bisher angeführten Beispielen, die eine ziemlich gute Übereinstimmung mit der Gauss'schen Fehlerkurve erkennen lassen, zeigt Fig. 4 eine viel stärkere Schiefheit. Die Keimungszeit variiert zwar auch hier um einen häufigsten Wert, der zwischen 5 und 6 Tagen liegt; die langsam keimenden Samen sind aber in einem viel höheren Prozentsatz vorhanden als die Samen mit kürzerer Keimungsdauer. Die starke Schiefheit dieser Kurve drückt sich auch zahlenmässig in der hohen Schiefheitsziffer von + 2.308 aus.

Aus den genannten Beispielen, die sich leicht vermehren liessen, geht hervor, dass die Variation der zum Auskeimen der Samen erforderlichen Zeit häufig in einer Verteilungskurve mit mehr oder weniger starker positiver Schiefheit zum Ausdruck kommt. Dieses langsame Abgleiten des fallenden Astes der Variationskurve hat auch K. Meyer (1928 b) in seinen Versuchen über die Keimung von Weizen in Zuckerlösungen beobachtet. Er nimmt an, dass diese Unregelmässigkeit auf dem Gehalt an minderwertigen Körnern beruhe, die insbesondere unter erschwerten Keimungsbedingungen sehr langsam keimen. Diese Erklärung trifft wohl in vielen Fällen zu; sie steht im Einklang mit der Tatsache, dass alte oder sonst in ihrer Keimkraft geschwächte Samenproben meistens einen schleppenden Keimungsverlauf aufweisen. Anderseits dürfen wir aber langsam keimende Samen durchaus nicht ohne

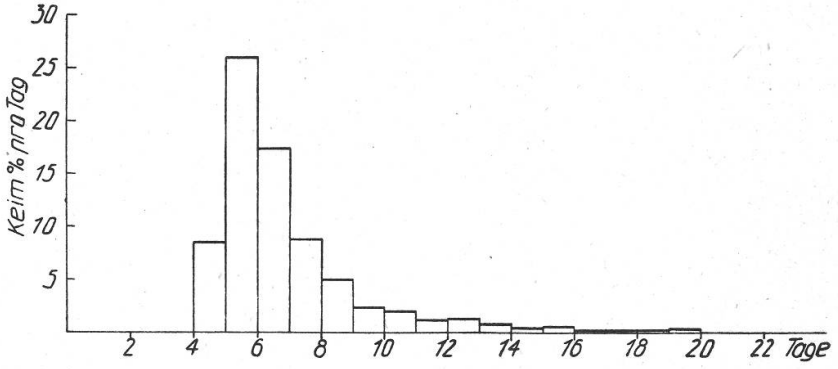

Fig. 4.

Keimung einer Handelsprobe von *Picea excelsa*, Ernte 1934, bei 20° C. Keimungsversuch mit 800 Samen. Versuchsbeginn 22. Februar 1935.

weiteres als minderwertig betrachten. Die Verzögerung kann — um nur einige leicht verständliche Möglichkeiten zu nennen — im Zusammenhang stehen mit einer für Wasser oder Sauerstoff etwas schwerer durchlässigen Samenschale, mit einer grösseren mechanischen Festigkeit der Schale oder eventuell mit einem geringeren Gehalt des Embryos an bereits in löslicher Form vorhandenen Baustoffen; alles Eigenschaften, die einer späteren normalen Entwicklung des Keimlings nicht im Wege stehen. Die positive Schiefheit, d. h. das rasche Ansteigen und das langsame Abfallen unserer Variationskurven kann schon darauf beruhen, dass *ein einziger für die Keimung ungünstiger Faktor die Keimungsdauer unter Umständen sehr stark verlängern kann, während anderseits selbst bei einer günstigen Kombination aller auf eine rasche Keimung hinwirkender Faktoren die zur Einleitung des Wachstums notwendige Zeit nicht unter ein gewisses Minimum sinken kann.*

Typische Fälle dieser Art kommen oft bei Leguminosensamen vor. In Fig. 5 oben ist das Verhalten einer Rotkleeprobe in den ersten zehn Tagen des Keimungsversuches dargestellt. Die Keimung begann unter den gegebenen Bedingungen nach Ablauf von 24 Stunden; sie erreichte zwischen 36 und 48 Stunden ihr Maximum und war scheinbar schon nach 5—6 Tagen nahezu beendigt. Es fanden sich jedoch am 10. Tag noch 6 % ungequollene Samen im Keimbett. Um das weitere Verhalten dieser sogenannten harten Körner etwas genauer verfolgen zu können, haben wir in einem 2. Versuch so viele Samen eingekeimt, dass nach 10 Tagen noch 400 harte Körner übrig blieben. Die Zahl der von diesen Samen erhaltenen Keimlinge ist, umgerechnet auf den in der ursprünglichen Probe enthaltenen Prozentsatz an harten Körnern, in stark überhöhtem Maßstab im untern Teil von Fig. 5 eingezeichnet. Aus der Darstellung geht hervor, dass ein Teil der nach 10 Tagen noch hart gebliebenen Samen verhältnismässig bald, andere dagegen erst nach längerer Zeit auskeimten. Die Zahl der pro 10 Tage erhaltenen Keim-

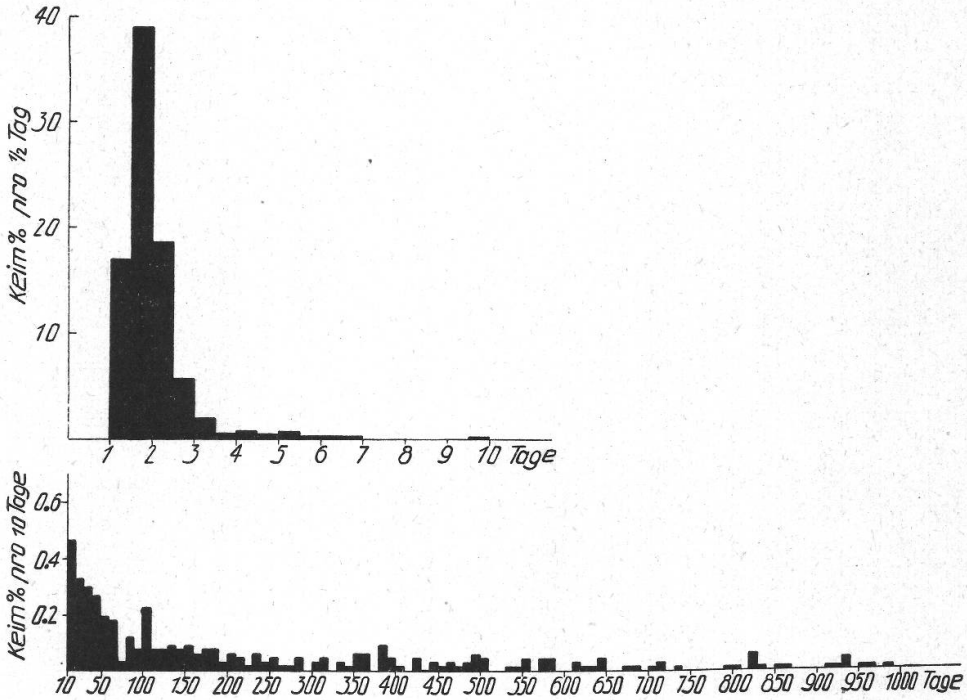

Fig. 5.

Keimung einer Handelsprobe von Siebenbürger Rotklee bei Zimmertemperatur (durchschnittlich 21° C). Der untere Teil der Figur ist zufolge Erweiterung des Klassenspielraumes und Vergrösserung des Maßstabes der Ordinate gegenüber dem oberen um das 533fache überhöht.

linge geht, abgesehen von kleinen Unregelmässigkeiten, die auf gewissen Schwankungen von Temperatur und Feuchtigkeit beruhen oder auch rein zufällig sein können, mit der Zeit langsam zurück. Ein Teil, nämlich 23 % der harten Samen oder 1,4 % der ursprünglichen Probe, zeigt auch jetzt, nach nahezu 3jähriger Versuchsdauer, noch kein Anzeichen einer Quellung. Die Darstellung des Keimungsverlaufes dieser Rotkleeprobe ergibt somit eine Variationskurve, die bei etwa 24 Stunden beginnt, zwischen 36 und 48 Stunden ihr Maximum erreicht, deren absteigender Ast sich aber auf mehrere Jahre ausdehnt. Es sei noch hervorgehoben, dass die spät keimenden Samen keineswegs minderwertig sind; wird ihre Schale durch Ritzen mit Glaspapier oder durch Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure durchlässig gemacht, so keimen sie prompt, und es gehen aus ihnen ebenso kräftige Pflanzen hervor wie aus den rasch quellenden Körnern. Die Schiefheit der Frequenzkurve hängt in diesem Fall offenbar damit zusammen, dass die Durchlässigkeit der Schale von Same zu Same variiert und dass es in bezug auf diese Variation eine Grenze gibt, unterhalb welcher die Wasseraufnahme nicht ohne weiteres möglich ist, sondern erst nach einer viel Zeit erfordernden Veränderung der Samenschale stattfinden kann. Es ist sehr wohl denkbar, dass unsere Kurve eine ganz andere Form an-

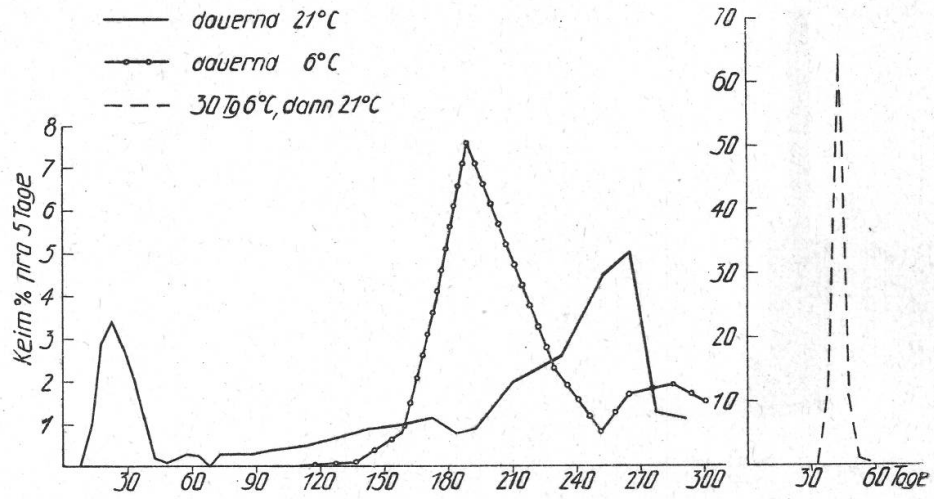

Fig. 6.

Keimung der Weymouthskiefernprobe Lenzburg 1929. Versuchsbeginn 18. Februar 1931.

nehmen würde, wenn wir statt auf die Keimungszeit auf die Variation der Durchlässigkeit bzw. der chemischen, physikalischen und morphologischen Eigenschaften der Samenschale abstellen könnten.

Eine starke Verzögerung des Keimungsprozesses lässt sich vielfach auch bei rasch quellenden Samen beobachten. Als ein Beispiel dieser Art führe ich in Fig. 6 die Ergebnisse einer mit *Pinus Strobus* durchgeführten Versuchsreihe an. Diese Probe konnte dadurch zu raschem und vollständigem Auskeimen veranlasst werden, dass man sie nach einer 30tägigen kühlen Vorbehandlung einer Temperatur von 21° C aussetzte. Brachte man sie jedoch von Anfang an in einen Thermostaten von 21°, so keimte ein gewisser Prozentsatz der Samen in ziemlich kurzer Zeit aus; nach 40 Tagen gelangte die Keimung jedoch beinahe zum Stillstand, um erst nach etwa 200 Tagen wieder stärker einzusetzen. Die der konstanten Temperatur von 21° C entsprechende Variationskurve zeigt daher zwischen 20 und 25 Tagen ein erstes Maximum; sie sinkt dann fast auf Null, um allmählich wieder anzusteigen und schliesslich nach 260—270 Tagen ein 2. Maximum zu bilden.

Eine nähere Untersuchung der nach 60tägigem Aufenthalt bei 21° noch ungekeimten Samen zeigte, dass diese weniger gut auf eine nachträgliche Kühlbehandlung reagierten, als wenn man sie von Anfang an der tiefen Temperatur ausgesetzt hätte. Ein Teil der Samen dieser Probe hatte somit unter dem Einfluss der konstanten Temperatur von 21° eine Hemmung ihrer Keimungsbereitschaft erfahren, die nur durch Einschaltung einer längeren Kühlbehandlung oder durch eine sehr lange Ausdehnung des Keimungsversuches behoben werden konnte. Der Keimungsverlauf wird hier also allem Anschein nach dadurch kompliziert, dass gewisse unter dem Einfluss höherer Temperaturen vor sich gehende

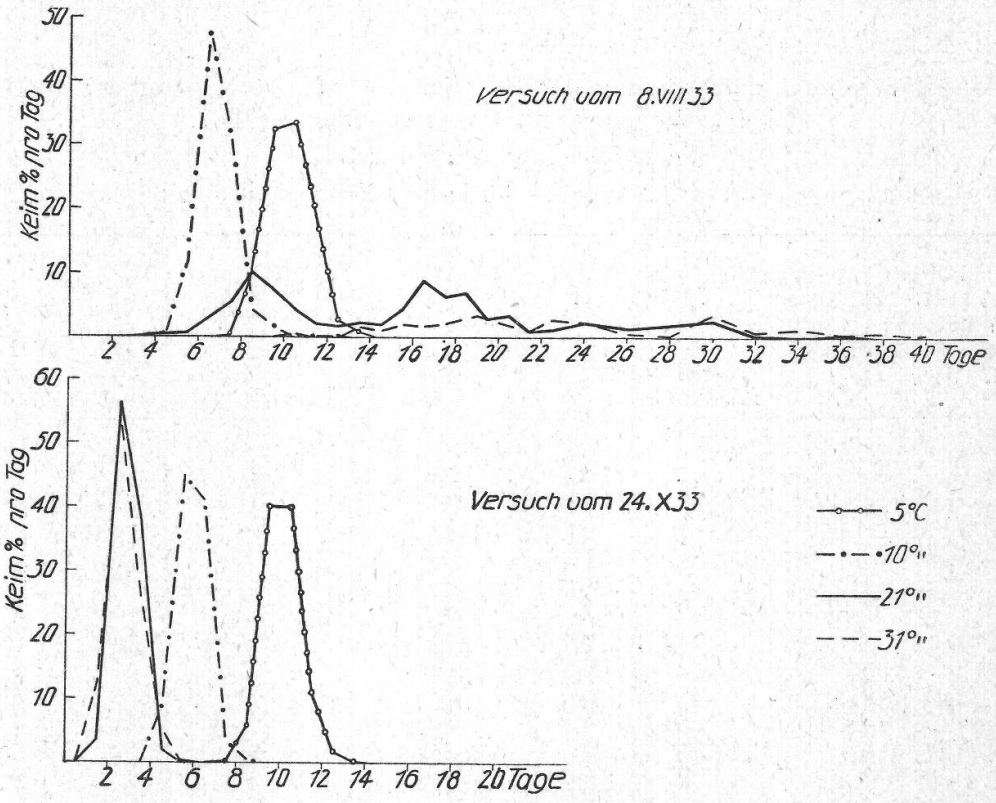

Fig. 7.

Keimung von Original-Strickhofweizen, geerntet am 8. August 1933, bei verschiedenen Temperaturen. Keimungsversuche mit je 600 Samen.

innere Veränderungen bei einem Teil der Samen zunächst eine Hemmung der Keimungsbereitschaft bewirken, die unter den gegebenen Bedingungen erst nach verhältnismässig langer Zeit überwunden werden kann.

Die Zweigipfligkeit der in Frage stehenden Variationskurve könnte die Vermutung aufkommen lassen, dass die vorliegende Probe eine Mischung zweier scharf getrennter Samentypen darstelle. Dies ist aber nicht der Fall. Wir können durch die Wahl geeigneter Keimungsbedingungen den ersten Gipfel leicht auf Kosten des zweiten vergrössern. Wenn wir die Probe vor Beginn der Einwirkung der konstanten Temperatur von 21° während 10 Tagen kühl vorbehandeln, so keimen in den ersten 60 Tagen 40,2 %, d. h. 26,1 % mehr als ohne Vorbehandlung. Wir können schliesslich durch Ausdehnung der Vorbehandlung auf 30 Tage sogar eine einheitliche, fast symmetrische Variationskurve erzielen (vgl. Fig. 6, rechts).

Mehrgipflige oder ganz unregelmässige Variationskurven lassen sich auch bei der Keimung von Getreide beobachten, wenn wir dieses unmittelbar nach der Ernte bei höheren Temperaturen zur Keimung ansetzen. In Fig. 7 oben ist der Keimungsverlauf einer Strickhofweizenprobe dargestellt, die ein Tag nach der Ernte bei verschiedenen Tem-

Tabelle 3.

Verlauf der Keimung, Ergrünung der Kotyledonen und Rotfärbung der Radicula bei der Weymouthskiefernprobe Bünzen 1931.

Versuchsbeginn 28. März 1934.

Keimungstemperatur 21° C (nach 30tägiger Vorbehandlung bei 11° C).

Anzahl Tage bei 21° C (nach 30tägiger Vorbehandlung bei 11° C)	Gekeimte Samen		Gekeimte + gespaltene Samen		Samen mit ergrünten Kotyledonen		Samen mit deutlich rotgefärbter Radiculaspitze	
	Total	Zunahme pro 3 Tage	Total	Zunahme pro 3 Tage	Total	Zunahme pro 3 Tage	Total	Zunahme pro 3 Tage
	%	%	%	%	%	%	%	%
0	0,5		4,0		0,5		0,7	
		0,7		0,4		1,7		5,5
3	1,2		4,4		2,2		6,2	
		1,0		1,8		2,2		18,7
6	2,2		6,2		4,4		24,9	
		16,1		21,4		29,4		34,8
9	18,3		27,6		33,8		59,7	
		20,5		21,4		22,3		6,9
12	38,8		49,0		56,1		66,6	
		17,9		13,5		9,1		5,1
15	56,7		62,5		65,2		71,7	
		9,3		7,5		5,6		7,4
18	66,0		70,0		70,8		79,1	
		3,8		3,3		2,9		0,8
24	73,7		76,7		76,6		80,8	
		2,6		1,7		1,5		1,7
30	78,9		80,2		79,6		84,3	

peraturen eingekeimt wurde. Die Keimung dieser Probe ging bei den höheren Temperaturen äusserst schleppend vor sich. Der Versuch musste bei 21° auf 50 Tage, bei 31° auf 6 Monate ausgedehnt werden. Der Verlauf der Keimung war bei 31° vollständig regellos; die der Temperatur von 21° entsprechende Kurve lässt zwei deutliche Maxima erkennen. Demgegenüber erfolgte bei 5° und 10° C ein rasches Auskeimen, und die den verschiedenen Keimungszeiten entsprechenden Häufigkeitszahlen gruppieren sich bei diesen Temperaturen ungefähr symmetrisch um einen mittleren Wert. Wir können daher sagen, dass die Variabilität dieses Weizens bei den höheren Keimungstemperaturen nur in verzerrter Form zum Ausdruck gekommen ist. Ganz anders verhielt sich dieselbe Probe nach 77tägiger Aufbewahrung (vgl. Fig. 7 unten); nach dieser Zeit untersucht, keimte bei 21° und bei 31° schon in 5 Tagen nahezu das letzte Korn aus.

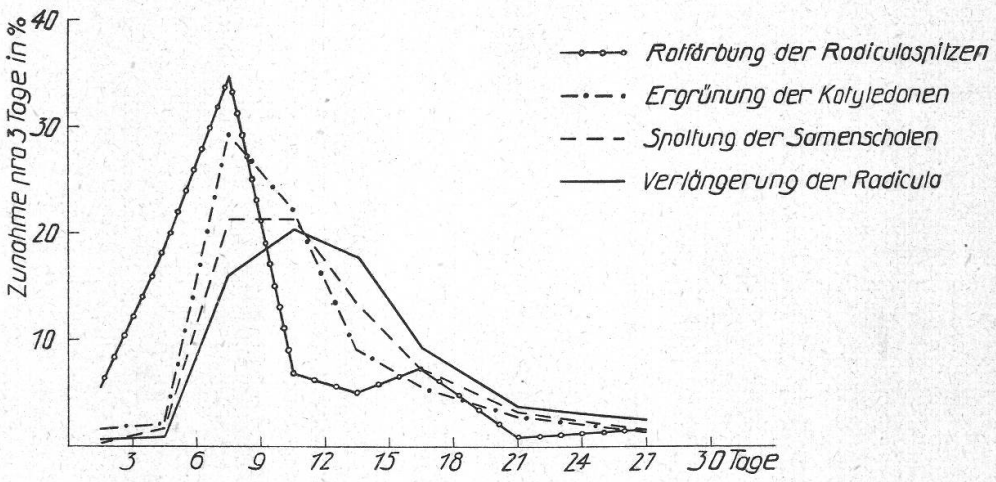

Fig. 8.

Verlauf der Keimung, Ergrünung der Kotyledonen und Rotfärbung der Radicula bei der Weymouthskiefernprobe Bünzen 1931.

Solche unregelmässige Keimungskurven, wie sie aus Fig. 5, 6 und 7 ersichtlich sind, können wir vielfach beobachten. Es kommt in der Samenkontrolle immer wieder vor, dass Proben, die in der ersten Zeit des Keimkraftversuches eine mehr oder weniger beträchtliche Zahl von Keimlingen liefern, hernach eine Zeitlang nur sporadisch weiterkeimen, bis eines Tages die Keimung wieder stärker einsetzt. Auf welchen Ursachen die eintretende Hemmung jeweils beruht und welche inneren Veränderungen die Keimung später wieder ermöglichen, ist in der Regel schwer festzustellen und bis jetzt in den meisten Fällen nicht bekannt.

In den bisher erwähnten Beispielen habe ich Keimungsversuche variationsstatistisch auszuwerten versucht, bei denen in regelmässigen Zeitabschnitten die Keimlinge gezählt wurden, deren Würzelchen oder deren Koleoptilen eine bestimmte Länge erreicht hatten. Wir können aber auch auf frühere Stadien des Keimungsprozesses abstellen. Wir beobachten beispielsweise bei einem Teil der Samen mancher Koniferenarten schon vor der Spaltung der Samenschale und dem eigentlichen Beginn der Keimung ein Ergrünen der Kotyledonen und eine Rotfärbung der Radiculaspitze. Um den Zeitpunkt des Auftretens dieser Färbungen näher festzustellen, habe ich in regelmässigen Zeitabständen die Embryonen von je 600 Samen einer bei 21° C im diffusen Tageslicht keimenden Weymouthskiefernprobe untersucht. Die Ergebnisse sind zusammen mit den gleichzeitig ermittelten Keimprozenten in Tabelle 3 zusammengestellt. Berechnen wir aus diesen Zahlen die auf die einzelnen Zeitintervalle entfallende Zunahme an gefärbten, respektive gekeimten Individuen, so erhalten wir die in Fig. 8 veranschaulichten Variationsreihen. Diese zeigen, dass die Rotfärbung der Radicula unter den gegebenen Bedingungen beim grössten Teil der Samen nach 6—9 Tagen in Erscheinung trat, während diejenigen Samen, die diese Ver-

Tabelle 4.

Keimergebnisse der Usterapfelsamen von Watt (Zürich), Ernte 1933, bei 20° C nach verschiedener Dauer der Vorbehandlung bei 6° C.
Versuchsbeginn 27. Oktober 1933.

Dauer der Vorbehandlung bei 6° C in Tagen . .	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135
Keimergebnisse in % .	0	0	3,3	14,0	52,5	75,7	82,7	88,0	92,0	95,0
Zunahme pro 15 Tage Vorbehandlung in % . .	0	3,3	10,7	38,5	23,2	7,0	5,3	4,0	3,0	

änderung schon früher oder erst später zeigten, nur in geringerer Zahl vorkommen. Die Ergrünung der Kotyledonen erfolgte durchschnittlich etwas später als die Anthozyanbildung in der Wurzel; die entsprechende Kurve nimmt aber im grossen und ganzen einen ähnlichen Verlauf. Die Samen der vorliegenden Probe wiesen somit in bezug auf die zum Auftreten der genannten Färbungen erforderliche Zeit eine ähnliche Variation auf wie hinsichtlich der Zeit, die bis zur sichtbaren Verlängerung des Würzelchens verstrich. Wenn die Kurven im einzelnen etwas unregelmässig sind, hängt dies zum Teil damit zusammen, dass jede der ihnen zugrunde liegenden Zahlen die Differenz zweier an verschiedenen Samenportionen ermittelten Ergebnisse darstellt, von denen jedes mit einem gewissen unvermeidlichen Fehler behaftet ist.

Bei Samenproben, die auf irgendeine Vorbehandlung reagieren, lässt sich noch in anderer Hinsicht eine Variabilität feststellen. So gibt es Weymouthskiefern- und Apfelsamen, die schon nach kurzer Kühlbehandlung auch bei höheren Temperaturen keimen, während bei anderen Samen der gleichen Proben ein viel längerer Aufenthalt bei tiefen Temperaturen vorausgehen muss. Ein Beispiel dieser Art ist in Tabelle 4 und Fig. 9 dargestellt. Wir haben je 6 × 50 Apfelsamen, die ohne Vorbehandlung bei 20° C nicht keimten, während 15, 30, 45 usw. Tagen einer Temperatur von 6° C ausgesetzt und sie hernach in den Thermostaten von 20° C übertragen. Wie aus Tabelle 4 und der S-förmigen Kurve von Fig. 9 ersichtlich ist, bewirkten die ersten 30—45 Tage nur eine schwache Förderung der Keimungsbereitschaft. Viel wirksamer war eine 60—75tägige Vorbehandlung, während eine noch längere Einwirkung der tiefen Temperatur das Keimergebnis im Vergleich mit dem 75tägigen Kühlaufenthalt nicht mehr so stark erhöhte. Bei längerer Ausdehnung der Vorbehandlung keimte übrigens ein beträchtlicher Teil der Samen schon vor der Übertragung in den Keimschrank von 20°. Berechnen wir die mit der Verlängerung der Vorbehandlung von 15 zu 15 Tagen erzielte Zunahme, so erhalten wir die in Fig. 9 eingezeichnete Treppenkurve. Diese zeigt, dass die Samen, die eine Vorbehandlung von mindestens 45—60 Tagen brauchten, um bei 20° keimen zu können, in der vorliegenden Probe bedeutend stärker vertreten waren als die Samen, die schon auf eine kürzere bzw. erst auf eine längere Ein-

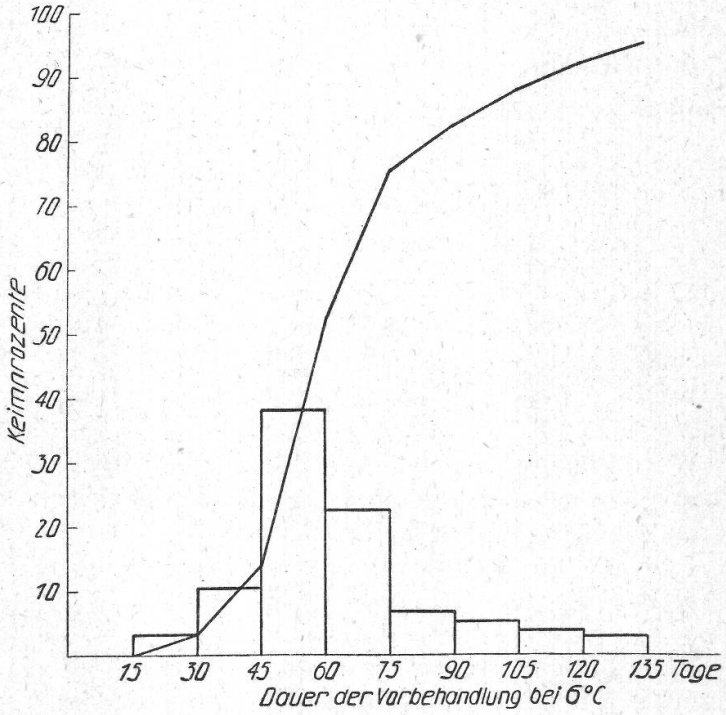

Fig. 9.

Keimergebnisse von Usterapfelsamen der Ernte 1933 von Watt (Zürich), bei 20° C, nach verschiedener Dauer der Vorbehandlung bei 6° C. Die Strichkurve stellt das jeweils erreichte Keimresultat, die Treppenkurve die pro 15 Tage Kühlbehandlung bewirkte Zunahme dar.

wirkung der tiefen Temperatur reagierten. Die zur Anregung der Keimung erforderliche Kühlbehandlung variiert also deutlich um einen mittleren Wert, und zwar weist die Verteilungskurve wie in manchen der früher erwähnten Beispiele eine deutliche positive Schiefheit auf. Auf Grund dieser Variabilität ist es erklärlich, wenn hier und in ähnlichen Fällen das Ansteigen der Keimergebnisse mit zunehmender Dauer der Vorbehandlung *nicht in einer geraden Linie, sondern in einer S-förmigen Kurve* zum Ausdruck kommt. Dasselbe trifft, nur in umgekehrtem Sinne, auch für den Verlauf der Keimkraftabnahme bei längerer Aufbewahrung zu.

Aus den angeführten Beispielen geht hervor, dass die Individuen einer Samenprobe in bezug auf ihr physiologisches Verhalten im allgemeinen eine ähnliche *Variabilität* aufweisen wie hinsichtlich der mit der Waage oder mit dem Maßstab messbaren Eigenschaften. So variiert *die unter günstigen Bedingungen zum Auskeimen erforderliche Zeit vielfach in einer der Gaußschen Fehlerkurve ziemlich gut entsprechenden Verteilung um einen bestimmten Mittelwert.* In andern Fällen zeigen die beobachteten Variationskurven starke Schiefheit, Zweigipfligkeit oder

andere Unregelmässigkeiten, deren Ursachen nur durch eine eingehende Untersuchung der für die Förderung oder Hemmung der Keimung in Frage kommenden äusseren und inneren Faktoren festgestellt werden können.

Literatur:

Aksentjev, B., 1931. Zur Frage der Bestimmung der Keimungsgeschwindigkeit von Samen und Früchten. Journ. Soc. Bot. Russie 16, 267—278, zit. nach Ref. Fortschritte der Landw. 7, 421 (1932).

Charlier, C. V. L. Vorlesungen über die Grundzüge der mathematischen Statistik. Lund 1920.

Johannsen, W. Elemente der exakten Erblichkeitslehre. Jena 1909.

Meyer, K., 1928 a. Untersuchungen über den Keimungsverlauf von Winterweizensorten in Zuckerlösungen. Journ. für Landw. 76, 151—181.

— 1928 b. Über die Bedeutung der graphischen Darstellung bei der Auswertung von Samenkeimversuchen. Pflanzenbau 5, 117—122.

Niethammer, A., 1927. Graphische Darstellung des Verlaufes der Samenkeimung, unter besonderer Berücksichtigung der Stimulationswirkung des Rhodankaliums. Zellstimulationsforschungen Bd. 3, Heft 1, zitiert nach K. Meyer (1928 b).

Porodko, Th. M., 1927. Zeitlicher Keimungsverlauf der erhitzten Samen. Ber. deutsch. bot. Ges. 45, 12—22.