

h289

Ueber die Folgen der Einwirkung der Temperatur auf die Keimfähigkeit und Keimkraft der Samen von *Pinus Picea* Du Roi.¹⁾

Von

Dr. Wilhelm Velten.

Weder für wissenschaftliche noch für praktische Zwecke sind die Fragen über die Wirkung des Erwärmens von Samen auf deren Entwicklung hinreichend untersucht. Das Experimentiren auf diesem Gebiete befindet sich in einem Jugendzustande, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass alle Versuchsergebnisse Specialfälle darstellen, welche erst mit dazu dienen ein allgemeines Gesetz zu ermitteln, das freilich in seinem Wesen zu ergründen erst einer späteren Zeit vorbehalten sein wird.

Vor Allem handelte es sich bei mir darum, in bestimmter Weise zu entscheiden, ob die Keimkraft mit Erhöhung der Temperatur plötzlich abnehme, so dass sie von ihrem vollen Werthe mit einem Mal auf Null fiele, oder ob sie sich periodisch ändere, oder ob ihre Abnahme ganz allmählig stattfinde, endlich aber, was ich für unwahrscheinlicher hielt, ob sie möglicherweise auch zunehmen könne.

Nicht minder wichtig war es zu erfahren, ob ein länger andauerndes Erwärmen von Samen bei verhältnissmässig niederen Temperaturgraden einer kürzeren Zeitdauer bei höherer Temperatur in seiner Wirkung entspreche. Ferner sollte die Untersuchung keinen Zweifel darüber lassen, ob Keimvermögen und Keimkraft identisch seien.

In Bezug auf letzteren Punkt muss ich die Bemerkung machen, dass ich unter Keimvermögen oder Keimfähigkeit lediglich nur das Verhältniss des Keimprocentes für eine bestimmte oder unbestimmte Zeit, während welcher ein Same den Keimbedingungen ausgesetzt ist, verstehe, gleichviel ob derselbe in einer gewissen Zeit einen grossen oder kleinen Keimling zum Vorschein kommen lässt, während ich andererseits die Keimkraft, Keimungsenergie, daraus ableite, ein wie grosses Volumen oder Gewicht oder welche Länge ein ausgewachsener Embryo für eine gegebene Zeit besitzt.

Im Allgemeinen können wir sagen, dass das Volumen, das Gewicht oder die Länge eines Keimlings einen Massstab für die Keimkraft abgebe, weil die Entwicklung des Keimes

¹⁾ Abdruck aus dem LXXIV. Bande (Jahrg. 1876) der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. II. Abth. in Wien.

in proportionalem Verhältniss steht zu der Keimkraft. Diese Factoren geben daher ein Bild von der Keimkraft. Dieser eben ausgesprochene Satz ist eine Hypothese, welche ihrer Natürlichkeit halber aber so lange als richtig und zweifellos angenommen werden kann, als nicht das Gegentheil bewiesen wird.

Ich habe mich längere Zeit mit der Frage beschäftigt, welcher Grösse, dem Volumen, dem Gewichte oder der Länge der Keime der Vorzug zu geben sei, und ich kam zu dem Resultat, dass man dem wirklichen Werthe am nächsten kommt, wenn man die Volumenbestimmung derjenigen der anderen Grössen vorzieht.

Die Gewichtsbestimmung ist die wenig empfehlenswertheste und zwar desshalb, weil, ehe die Keimlinge gewogen werden, sie stets oberflächlich zuvor abzutrocknen sind bis äusserlich kein tropfbarflüssiges Wasser mehr zu sehen ist, und während dieser Operation schreitet die Verdunstung an einzelnen Stellen leicht zu weit vor, was sofort durch das Gewicht angezeigt wird. Die Werthe der Gewichtsbestimmung haben daher häufig soweit variirt, dass ich sie zuletzt verlassen habe. Selbst ihren Werth mit der einer der andern Grössen in irgend einer Weise durch Rechnung zu combiniren hielt ich ebensowenig für zweckmässig.

Die Bestimmung der Länge der Keimlinge ist bei zahlreichem zu messendem Material wie dies bei meinen Versuchen immer der Fall war, eine äusserst mühselige Arbeit, vorausgesetzt, dass sie eben genau ausgeführt wird. Sie hat ausserdem noch einen gewichtigen Nachtheil. Die Dicke der Versuchspflänzchen steht durchaus nicht in einem directen Verhältniss zu ihrer Länge, so dass lange Pflanzen dünn und dick sein können, wenn man mehrere Objecte desselben Versuches, die unter ganz gleichen äusseren Versuchsbedingungen gewachsen waren, vergleicht; sie gibt daher auch nur einen ganz rohen Werth der Energie an, mit der ein Same keimt. Die Längenbestimmung bietet nur den einen Vortheil, dass sie nicht nur darüber Aufschluss gibt, wie gross die Gesamtlänge sämmtlicher Pflanzen eines Versuches ist, sondern sie gestattet gleichzeitig Einsicht, ob diese Pflanzen alle gleich gross oder ob sie verschieden in ihrer Grösse sind. Da wo die Kenntniss dieses Umstandes sehr in's Gewicht fällt, muss sie für alle Fälle ausgeführt werden. Im Allgemeinen lässt sich aber festhalten, dass, wenn das Samenmaterial an und für sich schon in seiner Entwicklung eine gewisse Gleichförmigkeit verräth, und für wissenschaftliche Versuche ist dies immer nothwendig, es auch bei gleichförmiger Behandlung mit äusseren Agentien auch dieselben oder wenigstens ähnliche Phasen der Veränderung unter sich durchmacht. Deshalb paralysiren sich im Allgemeinen die Versuchsfehler, wenn man den Gang der Entwicklung des Einzelkornes in Betracht zieht. In den meisten Fällen wird es aus diesem Grunde genügen, den Gesamtwertb einer grossen Zahl von Keimpflanzen zu erfahren.

Die Volumengrösse nun ist die constanteste. Die Pflänzchen werden auf Fliesspapier oberflächlich abgetrocknet, soweit bis das sichtbare Wasser auf der Pflanzenoberfläche entfernt ist. Schreitet die Verdunstung während dieser Zeit an einzelnen Punkten zu weit vor, so ist die Gefahr, dass dieselbe wesentliche Fehler veranlasse nur gering, weil die Starrheit der Membranen durch mässige Verdunstung dort nicht sofort verloren gehen wird, daher das Volumen so ziemlich dasselbe bleiben kann. Ein cubicirter Messcylinder, dessen Wasserstand ich mit einem Fernrohr ablese, steht bereit und das Volumen wird auf die bekannte Weise bestimmt. Im Folgenden führe ich aus den eben angegebenen Gründen lediglich die Volumenbestimmungen an.

Ich gehe nun über zur Beschreibung der Versuche. Anfangs October vorigen Jahres erhielt ich von der Erzherzog Albrecht'schen Kammer Teschen, aus dem Forstreviere Istebna bei Jablunkau in Oesterreichisch-Schlesien, eine grössere Anzahl Fichtenzapfen, welche fast noch ganz geschlossen waren. Man hatte sie einem grossen Vorrath entnommen, der im Monate September 1872 gesammelt worden war. Sie stammten aus ein und derselben Gegend von einer Höhe von 3000 Fuss über dem Meere, von einem Standort, wo die Fichte vorzüglich gedeiht. Es sind Rothfichtenzapfen. Ich habe mit diesen Zapfen, deren Samen sich durchgehends annähernd in ihrem Keimvermögen und ihrer Keimkraft gleich verhielten den ganzen Winter hindurch über die Einwirkung der Temperatur auf dieselben und deren Inhalt Versuche angestellt, die eine praktische Tendenz hatten, auf welche ich am Schlusse dieser Mittheilung daher nur kurz zurückkommen darf.

Später stellte sich das Bedürfniss heraus auch vom theoretischen Standpunkte aus eine bestimmte Einsicht in die Wirkungsweise verschiedener Temperaturgrade zu erhalten und die Versuche, welche von diesem aus unternommen wurden, will ich sogleich mittheilen. Die nächste Versuchsreihe wurde im Laufe dieses Sommers ausgeführt.

Die während des Winters fast noch ganz geschlossenen Zapfen begannen mit Eintritt des Sommers sich etwas mehr von selbst zu öffnen. Ich sammelte sowohl die hierdurch von selbst ausfallenden Samen und mischte sie mit denen, die ich künstlich aus den Zapfen herauspräparirte. Es wurde dann jeweils eine Hundert übersteigende Samenzahl während der für alle Versuche constanten Zeitdauer von vier Stunden auf 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90 und 100° C. erhitzt. Das Erhitzen geschah so, dass ich ein grösseres kupfernes Luftbad zuvor auf eine bestimmte Temperatur einstellte, was mittelst eines Thermoregulators leicht bewerkstelligt werden konnte. Auf einer Etage befand sich ein kleines Gefäss, in das ein Thermometer herabreichte. Um dieses Thermometer herum schüttete ich möglichst rasch die Versuchssamen und sorgte nun dafür, dass ausser dieser Anfangsschwankung während des Versuches die Temperatur im Innern des kupfernen Luftbades constant blieb. Sobald nach der Einführung der Samen das Thermometer wieder die gewünschte Temperatur erreicht hatte, was stets eine kurze Zeit in Anspruch nahm, wurde begonnen, die Zeit zu notiren. Wenn der Versuch beendet war, wurden die Samen mit destillirtem Wasser übergossen und blieben so während 24 Stunden bei einer 24° C. sich nähernden Temperatur stehen. Dann säte ich je 100 Samen und zwar nur solche, welche im Wasser untergesunken waren und hiedurch die Möglichkeit ihrer Keimfähigkeit von vornherein bekundeten,¹⁾ in flache Glastafelschalen aus, deren Boden mit sehr weitmaschigem Stramin ausgekleidet war. Hierauf brachte ich die Schalen in den im Anhang beschriebenen Thermostaten, welcher constant eine Temperatur von 24° C. zeigte und unterbrach täglich einmal diese Temperatur um möglichst sicher und bequem²⁾ meine Ablesungen machen zu können stets zu gleicher Zeit und gleich lang, so dass die geringe Temperaturschwankung, welche die Samen hierdurch erlitten, auf alle in gleicher Weise einwirkte und ein Fehler in der Untersuchung nicht zu befürchten war.

Die Grösse der Pflänzlinge variirt aber nicht nur mit der Temperatur, sondern auch mit dem Lichte. Im Dunkeln gewachsene Pflanzen werden sehr gross. Im gedämpften

¹⁾ 15 Procent durchschnittlich sanken im Wasser nicht unter.

²⁾ Da es bei diesen Versuchen nicht auf eine möglichst grosse und ununterbrochene Constanz der Temperatur ankam, brauchten selbstverständlich nicht alle Cautelen an dem Thermostaten zur Anwendung zu kommen, die Versuche anderer Art verlangen würden.

Lichte erzogene Keimlinge sind grösser als solche, die dem directen Lichte ausgesetzt waren. Da es sich bei meinen Versuchen um ein mehrtägiges Wachsen handelte, so war die Frage aufzuwerfen, ob dies im Licht oder in der Dunkelheit zu geschehen hätte. Im Lichte liess sich der Versuch nicht wohl ausführen, weil die Intensität des Lichtes selbst sehr variabler Natur ist und daher vergleichende Untersuchungen mit zu verschiedener Zeit keimenden Samen nicht gemacht werden konnten. Ich zog daher alle meine Pflänzlinge im dunkeln Raume. Dieser Factor war daher als annähernd constant anzusehen. Obgleich das Vergeilen in unserem Versuche gegen Ende desselben einigen Einfluss ausübt, so fällt dieser Versuchsfehler doch nicht weiter in die Wagschale, weil bei Pflanzen, welche in ihrer Entwicklung nicht sehr bedeutend differiren, der Einfluss der gleiche ist; bei solchen, bei denen eine grössere Differenz statt hat, kommt ein Versuchsfehler weniger in Betracht, weil wir noch weit davon entfernt sind mit mathematischer Schärfe die Werthe zu bestimmen.

Die Wirkung der Schwerkraft konnte ebenso als constant angesehen werden, da einmal gekeimte Samen, wenn sie auch verlegt, so doch ihre Wurzel niemals aus ihrer ursprünglichen Richtung zur Erde wesentlich gerückt wurde.

Waren nun hiermit die Hauptbedingungen gegeben, welche zur Erlangung eines exacten Resultates nothwendig sind, so waren andererseits in manchen weiteren Punkten die Versuchsbedingungen schwer ganz gleich zu machen. Es ist vor Allem schwierig, den Pflanzen täglich die gleiche entsprechende Wassermenge zuzuführen, weil dieselben je nach ihrer Entwicklung verschiedener Wassermengen bedürfen. Meiner Ansicht nach ist es hauptsächlich der Umstand, dass die bei Samenversuchen sich ergebenden Resultate gewöhnlich keine allzu grosse Uebereinstimmung zeigen und ein Gesetz nicht mit der Schärfe erkennen lassen, wie man es bei Versuchen anderer Art gewöhnt ist, dass das zur Vegetation unentbehrliche Wasser nicht nach bestimmten, aus Experimenten festgesetzten Mengen den Versuchspflanzen verabreicht werden kann. Derartige Untersuchungen sind noch nicht in genügend exacter Weise durchgeführt.

Die Versuchsdauer setzte ich für die Fichte stets auf 14 Tage fest, so dass der Tag des Einweichens in Wasser mit eingerechnet es stets der 15. Tag war, an dem der Versuch unterbrochen wurde und die Volumenbestimmung begann.

Nach dieser Zeit haben alle Samen, welche nicht ausgesprochen leidend sind, gekeimt; es findet entweder gar keine Zunahme der Zahl der Keimlinge statt, oder sie ist so gering, dass sie nicht mehr in Betracht kommt. Bei ausgesprochen kränklichem Samen ist die Zunahme oft noch recht merklich, aber die Entwicklung der Keimlinge auch steigend schwächer, bis schliesslich Alles zu schimmeln und zu faulen beginnt.

Die vorliegende Tabelle bezieht sich auf je 100 Samen vom 5. Tage an, wo das Keimen anfangt, bis zum Ende des 15. Tages gehend.

Ein Same wurde dann als gekeimt angenommen, wenn er horizontal gelegen an seiner austretenden Wurzelspitze eben die Wirkung der Schwerkraft durch eine schwache Krümmung nach abwärts verrieth.

Die letzte Reihe enthält die Controlsamen, welche gar nicht erwärmt worden waren.

Die Zahlen deuten das Keimprocent für jeden einzelnen Tag an.

Schlesische Fichtensamen

im Sommer 1876 untersucht.

	90	80	75	70	65	60	55	50	45	40	0
	Grad Celsius										
4. Tag.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.	0	0	0	0	1	8	15	19	30	32	32
6.	0	0	2	1	5	33	32	35	47	56	45
7.	0	0	2	7	15	39	40	50	56	62	60
8.	0	0	3	12	29	41	46	52	61	65	65
9.	0	0	3	14	40	45	47	53	61	65	67
10.	0	2	4	14	43	46	48	54	63	65	67
11.	0	5	8	19	50	48	48	54	63	65	68
12.	0	6	9	20	53	48	48	54	63	65	68
13.	0	6	13	23	56	48	48	55	63	65	68
14.	0	8	14	25	56	48	48	55	63	65	68
15.	0	8	17	27	56	48	48	55	63	65	68

Aus dieser Tabelle geht zunächst hervor, dass die grösste Zahl der keimfähigen Körner dem Versuche mit unerwärmten Samen zukömmt, dass mit Erhöhung der Temperatur von den vorderhand nicht vermeidlichen Versuchsfehlern abgerechnet, das Keimvermögen allmählig abnimmt, dass durch eine einstündige Erwärmung auf 80° C. der Nullpunkt der Keimfähigkeit fast erreicht ist. Die erwärmten Samen keimten fast durchgängig langsamer als die unerwärmten. Viertelstündiges Erhitzen auf 40 bis 45° C. hatte aber kaum einen Einfluss auf die Keimfähigkeit.

Eine wichtige Frage, welche ich schon Eingangs angedeutet habe, war nun die, zu wissen, ob die Keimkraft derjenigen Samen, die überhaupt, sei es bei welcher Temperatur es wolle, keimten, verschieden sei, oder ob sie mit Erhöhung der Temperatur abnehme und in welchem Verhältniss dies geschehe.

In Bezug auf die Volumenbestimmung füge ich nur noch bei, dass die Grösse der Messgefässe sich jeweils nach der Anzahl und der Grösse der Keimlinge richtete. Die Gefässe wurden immer möglichst klein gewählt, weil die Ablesungen dadurch um so genauer durchgeführt werden konnten. Die Samenschalen habe ich stets mitgemessen, weil bei wenig entwickelten Pflänzchen es unausführbar gewesen wäre, jedem einzelnen den Samenkörper von dem eben ausgewachsenen Embryo zu trennen. Da bei sämtlichen Versuchen die Samenschalen mitgemessen wurden, so konnte dies keinen Fehler involviren. 124 Stunden in Wasser eingeweichte Fichtensamen besaßen ein Volumen von 1.1 CCm., nach welchem Verhältniss eine der Samenzahl entsprechende Grösse abgezogen werden müsste, wenn man wissen wollte, wie gross lediglich das Volumen der Keimlinge sei. Sobald die Pflänzchen im Wasser eingetaucht waren, wurde vor jedesmaligem Ablesen des cubicirten Messgefässes dasselbe tüchtig aufgestossen um adhärende Luftbläschen zu entfernen, was auch mit Vorsicht mit einem Glasstab geschehen konnte, dann aber möglichst rasch die Messung vorgenommen.

Die Volumenwerthe der Keimlinge des ersten Versuches sind in Folgendem gegeben. Hierbei sind sämtliche Werthe auf 100 Keimlinge umgerechnet um dieselben vergleichbar zu machen. Das Volumen v ist für jede Temperatur in Cubikcentimetern ausgedrückt. Null ist die Controlle.

t	v
0° C.	3·9
40	3·8
45	3·9
50	3·6
55	3·7
60	3·4
65	3·0
70	1·9
75	1·8
80	1·5

Das aus diesen Werthen abgeleitete Gesetz lautet, dass nicht nur das Keimungsvermögen, sondern auch die Keimkraft mit Erhöhung der Temperatur abnimmt, bis sie sich schliesslich dem Werthe Null nähert. Die Abnahme des Volumens erfolgt gleichfalls allmählig, man kann sagen proportional der Zunahme der Temperatur. Obgleich bei Beendigung des Versuches und auch schon früher die Zahl der Keimlinge bei Temperaturwirkungen von 40–65° C. nicht beträchtlich verschieden war, ist die Keimkraft schon sehr merklich different. Die Abnahme des Keimvermögens und der Keimkraft erfolgt somit nicht in demselben Tempo.

Dürfen wir dieses Resultat verallgemeinern? Die angewandte Methode gäbe vielleicht die Berechtigung dazu? Aber über den innern Vorgang in den Samen, der physikalisch, chemisch oder wenn man will physiologisch sein kann, haben wir noch gar keine sicheren Anhaltspunkte und eben aus diesem Grunde ist es leicht möglich, dass das vorliegende Resultat einen Specialfall darstellt, der nur für einen gewissen ganz bestimmten Zustand, in dem der Same sich befindet, gilt und der mit dessen Veränderung auch Variationen zulässt. Die Versuche Wiesner's, gleichfalls mit Fichtensamen unternommen, auf die ich am Schlusse speciell zurückkomme, haben Resultate ergeben, die benutzt werden könnten, das Gegentheil von dem zu behaupten was wir soeben festgestellt haben.

Ich will vor Allem noch eine kleine Versuchsreihe mittheilen, welche dieselbe Frage beantworten sollte; es war nur hierzu ein anderes Material verwendet. Ich liess mir schon zu Anfang des letzten Winters Fichtenzapfen aus Innsbruck kommen, welche im Herbst 1875 abgepflückt worden waren, und habe sie diesen Sommer ganz nach derselben Methode untersucht und behandelt, die ich soeben beschrieben habe. Die Zeitdauer der Erwärmung betrug für alle Detailversuche ebenfalls vier Stunden. Das Keimungsvermögen der Samen bei verschiedenen Temperaturen ergibt sich aus der folgenden Tabelle, wobei ich zu bemerken habe, dass die Versuchssamen den Zapfen theils durch Schütteln, theils durch Zerreißen entnommen und zuvor gemischt wurden.

Tiroler Fichtensamen

im Sommer 1876 untersucht.

	90	80	70	60	50	40	0
	Grad Celsius						
4. Tag	0	0	0	0	0	0	0
5.	0	0	7	11	26	33	30
6.	0	0	22	25	40	63	60
7.	0	4	37	46	49	75	70
8.	0	8	57	52	50	77	77
9.	0	14	67	57	51	80	80
10.	0	16	71	57	53	80	81
11.	0	19	72	58	54	80	81
12.	0	19	75	59	54	81	81
13.	0	24	75	61	54	81	81
14.	0	27	75	61	54	81	81
15.	0	27	75	61	54	81	81

Das Erwärmen auf 40° hatte hier keinen Einfluss auf das Keimvermögen, wenn man die vorliegende Tabelle abmustert. Das wiederholte Steigen der Keimzahl mit der Erhöhung der Temperatur, wenn sie auch die der unerwärmten Samen nicht erreicht, lässt sich schwer deuten; hier bleibt also ein Zweifel über das Gesetz. Man erhält aber in den ganzen Process einen Einblick, wenn man die Volumina der gekeimten Samen auf 100 berechnet und mit einander vergleicht; es zeigt sich dann sofort, dass aus der Zahl der gekeimten Samen sich nicht auf die Grösse ihrer Entwicklung, auf ihre Keimungsenergie schliessen lässt. Die Volumina sind, in Cubikcentimetern ausgedrückt, folgende:

<i>t</i>	<i>v</i>
0° C.	2·6
40	2·7
50	2·7
60	2·3
70	2·2
80	1·8

Die Volumenwerthe sagen aus, dass das Volumen oder die Keimkraft mit Erhöhung der Temperatur allmähig abnimmt, wobei die unvermeidlichen Fehlergrenzen des Versuches ausser Acht bleiben müssen und dürfen. Sie zeigen ferner klar, dass die Keimkraft bei hoher Temperatur trotz des hohen Keimvermögens sehr klein sein kann.

Vergleicht man die absolute Keimkraft der Tiroler Samen mit der der schlesischen, so ergibt sich leicht, dass die Keimkraft der ersteren der der letzteren beträchtlich nachsteht. Ein überaus merkwürdiges Verhalten ergibt sich nun, wenn man die vorliegenden Resultate vergleicht mit denjenigen, welche ich bei Samen von den gleichen Fichtenzapfen erhielt,

die aber aus Untersuchungen gewonnen wurden, die ich schon im Laufe des letzten Winters mit denselben angestellt habe, die ich nun ebenfalls mittheilen will.

Diese letzteren Versuche hatten eine praktische Tendenz, deshalb variiren bei denselben die Zeiten mit den Temperaturen gleichzeitig. Sie bieten für die Theorie aus diesem Grunde kein so genaues Bild von den Wirkungen der Temperatur auf die Samenentwicklung. Es wurden bei dieser Versuchsreihe nicht die Samen für sich erhitzt, sondern die ganzen Zapfen sammt ihrem Inhalt waren verschiedenen, aber constanten Temperaturen ausgesetzt. Die Temperatur, welche die Samen während des Versuches durchmachten, entspricht daher nicht der im Erwärmungskasten herrschenden. Ich will lediglich nur das Endresultat dieser Versuche mittheilen, weil es vollkommen genügt das zu zeigen, auf was es hier ankommt. Die Details dieser Reihe werden in einem forstlichen Fachjournale zur Veröffentlichung gelangen.

Als ich die Fichtenzapfen aus Schlesien erhielt, war das Keimungsvermögen der Samen ausserordentlich gering, obgleich dieselben zur Reifezeit geerntet worden waren. Die Zapfen standen bei mir in einem Sacke den ganzen Winter über in einem ungeheizten Zimmer und zeigten bis zum Eintritt des Sommers dasselbe geringe Keimprocent, welches zu verschiedenen Zeiten und öfters festgestellt wurde. Erst mit Eintritt dieses Sommers war eine Zunahme in der Keimfähigkeit ohne mein Hinzuthun bemerklich.

Ich will nun zeigen, welchen Einfluss die verschiedenen Temperaturen auf dasselbe Samenmaterial hatte, mit dem ich die Versuche bei constanter Zeit während des Sommers anstellte, nur mit dem Unterschiede, dass die nun folgenden, und zwar die hauptsächlichsten Experimente in den Monaten Februar und März dieses Jahres angestellt wurden.

Die erste Columnne der folgenden Tabelle gibt die Temperaturen t an, welche die Zapfen ihren Samen einschliessend ausgesetzt waren. Die zweite Columnne zeigt die Zeitdauer d , während welcher sie die betreffende Temperatur ertrugen; die dritte gibt das Keimprocent p an, während die vierte über das Volumen, respective die Keimkraft Aufschluss gibt, wobei zu erinnern wäre, dass das Volumen der gekeimten Samen zuerst wiederum auf je 100 Samen umgerechnet wurde.

Schlesische Fichtensamen

im Winter 1875—1876 untersucht.

t	d		p	v
	Stunden	Minuten		
100° C.	1	13	60	2·5
90	1	42	46	1·5
80	2	11	76	2·4
75	2	28	87	2·0
70	3	9	95	3·1
65	2	24	95	3·2
60	2	44	94	3·4
55	3	21	97	4·1
50	4	19	90	4·5
45	8	—	96	2·8
40	9	33	78	2·3
35	18	32	93	2·2
0	—	—	21	1·9

Die Zeiten, während welchen die Zapfen erhitzt worden waren, haben ein besonderes praktisches Interesse. Der Gang der Temperaturen innerhalb der Zapfen ist mir durch Versuche bekannt; es würde aber zu weit führen hierauf einzugehen. Die Tabelle gibt ein genügend klares Bild über die Wirkung steigender Temperatur auf die Fichtensamen, welche in den letzten Wintermonaten untersucht worden waren und ohne Erwärmung ein enorm niedriges Keimprocent zeigten. Das Keimprocent der Controlsamen wurde, wie schon einmal erwähnt, während des ganzen Winters nicht nur einige Male, sondern öfters festgestellt und es resultirte stets eine Zahl, welche der obigen nahe kam, und die Keimkraft verhielt sich ebenfalls annähernd gleich.

Die Tabelle lehrt, dass bei diesem Versuche, wenn man von den gelegentlichen, vorerhand kaum vermeidlichen Unregelmässigkeiten absieht, dass mit steigender Temperatur das Keimvermögen zuerst bis 55° C. zunimmt, um dann wieder mit weiterer Erhöhung der Temperatur zurückzugehen. Das gleiche Gesetz spricht sich auch für die Volumenwerthe oder für den Gang der Keimkraft aus.

Wenn man dieses Verhalten mit dem früher aufgeführten vergleicht, so sieht man, das Keimungsvermögen, ebenso auch die Keimkraft haben mit Beginn dieses Sommers von selbst zugenommen. Im Winter hatte das Erwärmen einen ausserordentlichen Erfolg sowohl auf die Menge als die Kraft der Keime. Das grösste Keimprocent wurde bei längerem Erhitzen auf 55° C. erhalten, das grösste Volumen bei 50° C.; von da an aufwärts der Temperaturscala nahmen beiderlei Werthe wieder langsam ab.

Dasselbe Samenmaterial im darauffolgenden Sommer untersucht, zeigte ein umgekehrtes Verhalten. Die künstliche Erwärmung setzte Keimvermögen und Keimkraft ihrer Zunahme gemäss herab, offenbar weil das Keimungsvermögen und die Keimkraft an und für sich schon gestiegen war und die länger andauernde niedere Temperatur dasselbe bewirkt hatte, was eine kurze aber hohe Temperatur zu leisten im Stande ist.

Daraus geht im Allgemeinen, worauf ich besonderes Gewicht legen will, hervor, dass diesbezüglichen Versuchen mit Pflanzensamen niemals sofort ein allgemeiner Werth, respective allgemeine Giltigkeit beigelegt werden darf.

In den Samen gibt es Vorgänge, die zu geeigneter Zeit von selbst eintreten, aber auch künstlich beschleunigt werden können.

Versuche mit den Tiroler Samen ergaben ein ähnliches Resultat. Die Untersuchung wurde nur nicht mit derselben Ausführlichkeit behandelt. Sie besaßen unerwärmt schon ein bemerkenswerthes Keimvermögen, welches sich auf 62 Procent belief, das schon durch $2\frac{1}{2}$ stündiges Erwärmen auf 50° C., auf 93 Procent sich hob, während der Volumenwerth der unerwärmten Samen 2.4 CCm., der der auf 50° C. erwärmten 2.58 CCm. betrug. Die unerwärmten Samen besaßen bei relativ immerhin noch mittelmässigem Keimungsvermögen eine grosse Keimkraft, welche freilich hinter der der schlesischen Samen sehr merklich zurückblieb. Wenn man die Werthe der Keimfähigkeit und der Keimkraft dieser unerwärmten Samen, mit denen der früher mitgetheilten Versuche vergleicht, so sieht man, dass auch hier sich beide Grössen mit Beginn des Sommers von selbst gehoben haben.

Ich wollte nun ferner wissen, welchen Erfolg verschiedene Zeitdauer des Erwärmens auf ein und denselben Temperaturgrad auf die Samen ausübe und wählte hierzu die schlesischen Samen aus. Die Versuche, im letzten Winter unternommen, wurden bei 40, 50 und 60° C. ausgeführt. Die erste Columnne der folgenden Tabelle gibt wiederum die Temperatur

t an, die zweite die Zeitdauer des Erwärmens $= d$, die dritte das Keimprocent p , die vierte das Volumen auf 100 Samen umgerechnet in Cubikcentimetern an.

Schlesische Fichtensamen

im Winter 1875—1876 untersucht.

t	d	p	v
40° C.	9 Std.	78	2·3
40	19	96	2·4
40	24	92	3·26
40	41	89	3·57
50	4	90	4·1
50	8	98	4·17
50	12	98	3·76
60	2·5	92	3·37
60	5·5	95	3·78
60	8	92	3·47

Wir sehen somit, dass ein längeres Erhitzen auf 40° C. die hier behandelten Fichtensamen für ihre Entwicklung geschickter macht, und dass bei 41stündigem Erwärmen sogar noch ein günstiger Einfluss wahrzunehmen ist, welcher sich allem Anscheine nach durch weitere Zufuhr von gleichen Wärmemengen dem grösstmöglichen Werthe der Keimkraft genähert haben würde. Bei 50° C., bei welcher Temperatur wir für die Zeitdauer von vier Stunden bereits den höchsten Volumenwerth erhielten, zeigt derselbe sogar noch eine wenn auch unbedeutende Zunahme, auf welche indess kein Gewicht gelegt werden kann, bei achtstündigem Erwärmen. Bei zwölfstündigem Erhitzen tritt aber die schädliche Wirkung sofort zu Tage. Beim Erwärmen auf 60° C. zeigt sich etwas Aehnliches.

Was nun die Geschichte betrifft, so sind es streng genommen nur zwei Untersuchungen, welche herbeigezogen werden müssen. Die eine rührt von Wiesner¹⁾, die andere von Nobbe²⁾ her.

Wiesner erwärmte Fichtensamen eine Viertelstunde lang auf 40, 45, 50, 55 und 70° C. Er säte dann die Samen im botanischen Garten der Mariabrunner Forstakademie am 7. Juni 1871 aus und erhielt folgendes Resultat. Die durch 30 Min. auf 40° C. erwärmten Samen brachten normale Keimlinge am 1. Juli hervor. Die durch 35 Min. auf 45° C. erhitzten erschienen am 3. Juli und waren normal. Die durch 72 Min. auf 50° C. erwärmten erschienen am 1. Juli und waren etwas verkümmert. Die durch 102 Min. auf 55° erhitzten waren gleichfalls verkümmert und erschienen am 1. Juli. Am 3. Juli kamen schwache Keimlinge der durch 75 Min. auf 70° C. erwärmten Samen hervor. Die durch 35 Min. auf 45° C. erhitzten und während 50 Min. bei dieser Temperatur belassenen Samen keimten

¹⁾ Wiesner, Experimental-Untersuchungen über die Keimung der Samen. Sitzungsber. der kais. Akademie der Wissenschaften zu Wien. Math.-naturw. Cl. 1871, 20. Juli.

²⁾ Nobbe, Ueber die Keimungsreife der Fichtensamen. Nobbe's „Landwirthschaftliche Versuchsstationen“. 1874. Bd. XVII.

gar nicht. Die unerwärmten Samen traten am 3. Juli über die Erde. Wiesner hat somit schon gezeigt, dass Nadelholzsaamen Temperaturen von 70° C. ertragen können und es fiel ihm auch auf, dass die erwärmten Samen früher, wie die unerwärmten keimten.

Nobbe bestimmte die Keimkraft in den Monaten Juli bis November von Fichtensamen, die einerseits grünen, andererseits rothen Fichtenzapfen entnommen worden waren und kam zu dem Resultate, dass die Keimkraft der rothen durchaus zurückbleibe hinter der der grünen Zapfen, ferner dass, da Nobbe mit Beginn des Winters keine Zunahme des Keimprocentes gewährte, er den gewagten Schluss zog, dass die Keimungsreife der Fichtensamen sehr frühzeitig eintrete. Dass Nobbe's Versuche nicht entscheidend waren, diesen Schluss zu ziehen, geht aus der vorliegenden Abhandlung hervor. Ob die geringe Keimfähigkeit Nobbe's Versuchsmaterials von Rothfichtensamen mit demjenigen dessen, welches ich bei Beginn und während des letzten Winters in Händen hatte, in irgend einem Zusammenhange steht, das wage ich nicht zu entscheiden.

Wiesner zog aus seinen Untersuchungen gar keinen bestimmten Schluss; er beschränkte sich darauf, zu sagen, dass es wahrscheinlich sei, dass Nadelhölzer bis zu 70° C. wenigstens für kurze Zeit ertragen können, ohne ihre Keimfähigkeit zu verlieren und dass die erwärmten Samen in der Mehrzahl der Fälle früher als die unerwärmten keimten. Auch über das Verkümmern von nicht allzu hoch erhitzten Samen konnte Wiesner sich keine bestimmte Rechenschaft geben. Dies war eben unmöglich, weil ein derartiger Versuch im Freien als entscheidendes Experiment nicht ausgeführt werden kann. Vor Allem ist kein Verlass, welcher Factor ein früheres oder späteres Aufgehen der Samen bewirkte, weil es hier an der Constanz derjenigen Factoren fehlte, welche diese Eigenschaften besitzen sollten.

Dass auch meine Methodik noch Vieles zu wünschen übrig lässt, das weiss Niemand besser als der, der mit derartigen Experimenten vertraut ist. Was meine Methode leistet, ist leider mehr durch erworbene Uebung als durch Versuche in verschiedener Richtung festgesetztes Vorgehen verschuldet. Dies gilt namentlich mit Bezug auf die Beibehaltung des constanten Factors Wasser, welcher eine gewichtige Rolle spielt. Es ist nun mehr als ein Jahr, dass ich begann, mich mit der Keimung der Samen in exacter Weise zu beschäftigen. Anfangs erhielt ich immer divergirende Resultate. Es bedurfte einer gewissen Ausdauer, bis ich zu der Ueberzeugung kam, dass diese unbestimmten und unsicheren Resultate in den meisten Fällen ihren Grund nicht in dem Samen selbst haben, sondern dass es hauptsächlich von der Geschicklichkeit des Experimentators abhängt, ob ihm das Experiment ein Gesetz klar vor Augen führt oder nicht.

Zahlreiche Untersuchungen haben mir gezeigt, dass die Entwicklungsfähigkeit eines Samens eine Grösse ist, mit welcher sich mit Sicherheit dann operiren lässt, wenn die Wirkung sämmtlicher in Betracht kommender äusserer Agentien zuvor klar gestellt, zum Mindesten von dem Experimentator zuvor erfahren worden sind.

An die vorliegenden Daten liessen sich mannigfache praktische Fragen knüpfen, auf die einzugehen ich hier verzichten muss. Nur ein Punkt scheint mir von so allgemeinem nicht nur praktischem, sondern in noch höherem Grade theoretischem Interesse zu sein, dass ich ihn berühren will.

Wenn wir die auf verschieden hohe Temperaturen erhitzten Samen gemischt der Natur übergeben, und dies kommt in Wirklichkeit ja häufig vor, so würden, darüber besteht kein Zweifel, in vielleicht kurzer Zeit schon die kräftigeren Pflanzen die mit geringerer

Keimkraft, die also weniger günstig ausgestattet sind, im Kampf um das Dasein wenn auch nicht ganz, so doch theilweise verdrängen.

Wenn eine Aussaat von Menschenhand geschieht, so ist es offenbar ein sehr günstiges Verhältniss, wenn nur wenigstens ein Theil des Saatgutes den Maximalwerth seiner Keimkraft besitzt, denn es ist sicher, dass diese schon a priori einen Vorsprung vor allen andern haben und die schwächeren Pflänzlinge werden nach und nach unterdrückt oder sie werden schon anfangs, in häufigen Fällen wenigstens, mit Absicht bei Seite geschafft.

Nehmen wir aber einen andern Fall, wir würden etwa ein Samenmaterial verwenden, welches etwa durch höhere Temperatur, der es ausgesetzt war, etwas wenn auch nicht beträchtlich in seiner Keimkraft zurückgeschritten sein und sämtliche zur Aussaat kommenden Samen hätten genau denselben Process durchgemacht, so würden die etwas geschwächten Sämlinge, da sie keine Concurrenz mit stärkeren auszuhalten hätten, ungehindert aufkommen, und es wäre eine weitere Aufgabe, zu untersuchen, ob eine ursprünglich schwächere Pflanze später noch zur vollkommenen möglichen Kraft gelangen kann, oder ob ein Fehler bei der Geburt auf das ganze Leben seine Folgen hat. Meiner Ansicht nach, lässt sich diese Frage weder unbedingt bejahen noch verneinen. Theoretisch kann man die Frage nicht in bestimmter Weise entscheiden. Praktisch würde sie vollkommen gleiche Culturbedingungen voraussetzen und eine jahrelange aufmerksame Beobachtung und strenge Controle erfordern. Ich habe einigen Grund zur Vermuthung, dass ein ursprüngliches Missverhältniss, wenn auch nicht immer nachwirken muss, so doch oft nachwirken kann, und von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, lässt sich die Behauptung aufstellen, dass die Verwendung von Samen, unter denen wenigstens nicht ein Theil die überhaupt grösstmögliche Keimkraft besitzt, zu dem Ruin der Wälder oder Felder ein gutes Stück beitragen kann.

Diese Betrachtung zeigt, ein wie grosses und wichtiges Gebiet dem Naturforscher zur exacten Behandlung und Lösung offen steht.

Das was sich mir aus dieser Arbeit mit Sicherheit zu ergeben haben dünkt, will ich kurz recapituliren.

1. Das Keimprocent sowohl, wie die Keimgeschwindigkeit gibt keinen sicheren Aufschluss über die Keimkraft der Samen; umgekehrt gilt dasselbe Gesetz.

2. Die Erwärmung von Samen kann einen günstigen oder ungünstigen Einfluss auf das Keimungsvermögen und die Keimkraft ausüben, je nachdem der physiologische Zustand ist, in dem der Same sich befindet.

3. Die Zeitdauer der Erwärmung ist von wesentlichem Einfluss auf die Entwicklung des Samens, insoferne längeres Erwärmen bei niederen Temperaturen denselben Effect wie kurzes Erwärmen auf höhere Temperaturgrade hervorrufen kann.

4. Eine mit der vorliegenden Untersuchung im Zusammenhang stehende Hypothese lautet: „Eine nicht vollkommen normale Keimkraft von Samen kann ihren ungünstigen Einfluss noch auf die Weiterentwicklung der Pflänzlinge auf unbestimmte Zeit hinaus in geringerem oder grösserem Grade geltend machen, insbesondere dann, wenn in der Natur derartige Sämlinge unter sich und nicht mit stärkeren ihrer Art in Concurrenz treten, was ersteres tagtäglich insbesondere in der Forstwirthschaft eintritt.
