Zeitschrift: Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Graubünden

Band: 81 (1946-1948)

Artikel: Ergebnisse eines Keimversuches mit Lärchensamen auf verschiedenen Böden unter wechselnden Belichtungs- und Feuchtigkeitsverhältnissen

Autor: Auer, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-594833

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.12.2025

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

Ergebnisse eines Keimversuches mit Lärchensamen auf verschiedenen Böden unter wechselnden Belichtungs- und Feuchtigkeitsverhältnissen[1]

(Ein versuchsmethodischer Beitrag zur Faktorenanalyse)

Von *C. Auer*, Chur

I. Einleitung und Problemstellung

Es ist bekannt, daß sich die Lärche *(Larix europaea Lam. et DC)* mit Vorliebe auf unbesiedelten primären oder sekundären Rohböden natürlich verjüngt. Eine jüngere Untersuchung über die Mikroökologie besonders verjüngungsbereiter Standorte im *Rhodoreto Vaccinietum* (1) ergab ferner, daß der Lärchensamen zu wirksamem Keimen auch auf Rohböden noch eines speziellen Kleinklimas bedarf. Dieses zeichnet sich vor allem durch lokal gesteigerte Feuchtigkeit und leichte Beschattung aus. Ein erstes systematisches

---

[1] Dr. A. Stückelberger, Direktor der Evangelischen Lehranstalt Schiers, Zweigschule Samedan, stellte mir für den vorliegenden Versuch unentgeltlich das notwendige Terrain in bequemer Lage zur Verfügung. Gymnasiallehrer H. Schmid besorgte mit Schülern des Institutes zum großen Teil die Überwachung des Versuches. Bei der Auswertung der Ergebnisse durfte ich manchen Rat von Dr. A. Linder, Professor an der Universität Genf und Dozent an der E.T.H., Zürich, empfangen. Diese sehr wertvollen Unterstützungen seitens dieser Herren seien vorausgehend dankbar erwähnt.

Keimexperiment bestätigte den dominierenden Einfluß des Wasserfaktors. Im Zusammenwirken mit diesem war auch ein gesicherter Einfluß des Lichtes nachweisbar. Eine von anderen Faktoren unabhängige Beeinflussung der Keimung durch das Licht konnte dagegen nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden. Unabgeklärt blieb auch eine eventuelle Einwirkung des Keimbodens. Beobachtungen über die Häufigkeit natürlicher Lärchenverjüngungen in verschiedenen Waldgesellschaften zeigen aber, daß auch unter ähnlichen lokalklimatischen Bedingungen deutliche Unterschiede vorhanden sind, die durch die Auswirkungen des Licht- und Wasserfaktors allein nicht erklärt werden können. So ist im allgemeinen die natürliche Lärchenverjüngung in den Assoziationen des *Pineto-Ericion*-Verbandes deutlich spärlicher und weniger wüchsig als vergleichsweise in den Assoziationen des Unterverbandes *Rhodoreto Vaccinion*. Der *Pineto-Ericion*-Verband umfaßt Pionierwaldgesellschaften, die sich fast stets nur auf Kalkrohböden einstellen, während die Assoziationen des *Rhodoreto-Vaccinion*-Verbandes primär nur auf sauren und intermediären Böden zu finden sind.

Daraus erwuchs, als Ergänzung zu den Untersuchungen über die natürliche Lärchenverjüngung, die spezielle, mehr grundsätzliche F r a g e s t e l l u n g für das vorliegende Keimexperiment:

a) Vermag der Keimboden einen nachweisbaren gesicherten Einfluß auf die Keimung von Lärchensamen auszuüben oder nicht? Welcher Art ist dieser Einfluß?

b) Welchen qualitativen und quantitativen Einfluß übt der Lichtfaktor auf die Keimung von Lärchensamen aus?

II. Versuchsanlage und Auswertungsverfahren

Bild 1 ist eine Gesamtansicht der Versuchsanlage bei S a m e d a n im Oberengadin. Die mit den gut durchmischten Versuchsböden gefüllten Eternitschalen wurden leicht in den Wiesboden eingegraben. Ein feines Drahtgitter, über die Bodenlöcher der Eternitschalen gelegt, verhinderte das Ein-

dringen von Würmern. Glasplatten deckten die Versuchsböden regendicht ab. Sie ruhten auf einem leichten Holzgestell, derart, daß zwischen ihnen und dem oberen Schalenrand ein 7 bis 8 cm hoher Zwischenraum entstand. Damit war ein dauernder Luftaustausch mit dem Freiland gewährleistet. Der regelmäßige und zum Teil intensive Lokalwind verstärkte ihn noch beträchtlich. Die Saaten wurden täglich nach Sonnen-

Bild 1

Ansicht der Versuchsanlage

untergang künstlich begossen. Weil es nicht möglich war, hiefür destilliertes Wasser in genügenden Mengen zu bekommen, mußte gewöhnliches Quellwasser aus einem nahen Bächlein verwendet werden. Damit wurde ein möglicher Versuchsfehler zum vornherein in Kauf genommen.

Es wurden folgende Versuchsböden ausgewählt:

B_1 Material aus dem rA_1-Horizont einer humosen Rendzina mit reichlicher Beimischung von Kalkskelett.

B_2 Mischmaterial der Horizonte bA_0 und bA_1 einer humosen Waldbraunerde aus Weidewald auf Gneisunterlage.

B_3 Steiniger kiesiger Silikatrohboden aus einer Rüfe des Val Champagna.

B_4 Reiner Rohhumus aus dem A_1-Horizont des subalpinen Eisenpodsols.

Damit wird dem erfahrungsgemäß für Lärchenverjüngung günstigen humosen Material der Oberhorizonte von Waldbraunerden eine humose Kalkbodenform gegenübergestellt. Der Silikatrohboden und der Rohhumus stellen gleichsam zwei extreme Keimböden in der Podsolserie dar.

Tabelle 1

Ergebnisse der chemischen und physikalischen Bodenanalysen durch die Landw. Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon

Boden (Bezeichnung)	Chemische Analyse					
	pH	$CaCo_3$ %	K_2O mg/100 g	Phosphor mg/100 g	Stickstoff %	Humus %
B_1 Rendzina	7,25	4,2	0,3	0,05	0,30	8,0
B_2 Waldbraunerde	5,1	0	1,4	0,10	0,41	4,4
B_3 Silikatrohboden	5,7	0	0,6	0,03	0,06	3,5
B_4 Rohhumus	4,0				1,17	75,4

Boden	Schlämmanalyse					
	Ton mm 0,01 %	Staubsand mm 0,01–0,05 %	Feinsand mm 0,05–0,1 %	Grobsand mm 0,1–2,0 %	Kies mm 2,0–20,0 %	Steine mm 20,0– %
B_1	42	18	10	30	23	21
B_2	25	21	10	44	33	17
B_3	12	8	8	72	51	7
B_4						

Die Lichtdosierung in den Versuchsschalen wurde durch Tücher über den Glasplatten von angenähert freilandähnlichen Verhältnissen in zwei ungefähr gleich großen Sprüngen nach unten abgestuft. Messungen mit einer Selenzelle bei allen Schalen und variierender Sonnenlichtintensität ergaben folgenden relativen Lichteinfall unter den drei gewählten Bedeckungsarten:

Tabelle 2

Relativer Lichtgenuß in den Versuchsschalen

Belichtungsgrade Bedeckungsart	Relativer Lichteinfall in % des Freilandlichtes Total (direktes und diffuses Licht)	Anteil des diffusen Lichtes allein
Freiland (zum Vergleich)	100	24
L_1 stärkster Belichtungsgrad, 2 mm Uviolglas	93	23
L_2 mittlerer Belichtungsgrad, 3 mm Fensterglas mit dünnem Tuch bedeckt	53	24
L_3 schwächster Belichtungsgrad, 3 mm Fensterglas mit dickem Tuch bedeckt	3	2

Damit ist wohl quantitativ eine zweckmäßige Abstufung der Lichtmengen erreicht, nicht aber qualitativ. Vorausgehende Versuche haben aber gezeigt, daß die Verschiedenheit der Lichtqualität dieser Größenordnung keinen wesentlichen Einfluß auf die Keimung auszuüben vermag.

Um den Einfluß der Keimböden auch unter verschiedenen Feuchtigkeitsverhältnissen zu untersuchen, wurde je die Hälfte der Versuchsschalen verschieden stark begossen:

W_1 Begießungsmenge 500 ccm Wasser pro Schale und Tag. (Diese Wassermenge entspricht der — ideal verteilten — durchschnittlich gemessenen Niederschlagsmenge des Versuchsortes).

W_2 Begießungsmenge 300 ccm Wasser pro Schale und Tag.

In jede Schale wurden 1000 abgezählte Lärchensamen gesät und wenige Millimeter mit gleicher Erde locker vermengt. Die gekeimten Samen wurden täglich, gegen das Versuchsende alle zwei Tage, ausgezählt, notiert und mittels eines Kupferringleins bezeichnet. Als «gekeimt» wurde jeder Same betrachtet, bei dem die Wurzelspitze 2 mm aus der aufgesprengten Samenschale herausragte. Die eingegangenen Keimlinge wurden ebenfalls täglich gezählt und samt den Ringlein aus der Schale entfernt.

Der starke, ausgesprochen die Talrichtung bevorzugende Lokalwind (Malojawind) hat die Versuchsanordnung bestimmend beeinflußt. Es mußte erwartet werden, daß die tägliche Austrocknung der Keimbodenoberflächen in den mehr windexponierten Schalen stärker war als in den hinteren Reihen, daß somit ein unkontrollierbarer Einfluß den Versuch stören würde. Der Versuch mit 36 Schalen wurde deshalb in vier Blöcke aufgelöst (I—IV). Bei jedem Block wurden weiter die Variablen Licht und Boden derart kombiniert, daß alle drei Böden und alle drei Belichtungsarten in jeder Zeile und Kolonne einmal, aber nur einmal auftraten (lateinisch-griechisches Quadrat). Diese Kombinationen wechseln von Block zu Block in zufälliger Art. Dadurch können sich Windeinfluß und andere unkontrollierbare Einwirkungen der Umgebung nicht einseitig systematisch auswirken.

Bild 2

Schema der Versuchsanordnung

		II			I		
	B_2L_1	B_1L_3	B_3L_2	B_2L_2	B_4L_3	B_1L_1	
W_1	B_1L_2	B_3L_1	B_2L_3	B_1L_3	B_2L_1	B_4L_2	W_2
	B_3L_3	B_2L_2	B_1L_1	B_4L_1	B_1L_2	B_2L_3	
	B_2L_3	B_4L_1	B_1L_2	B_1L_2	B_3L_1	B_2L_3	
W_2	B_1L_1	B_2L_2	B_4L_3	B_2L_1	B_1L_3	B_3L_2	W_1
	B_4L_2	B_1L_3	B_2L_1	B_3L_3	B_2L_2	B_1L_1	
		IV			III		

Das Auswertungsverfahren beruht im wesentlichen darauf, die Gesamtstreuung der Keimergebnisse um ihren Durchschnitt in Teilstreuungen zu zerlegen, die der Wirkung einzelner Faktoren oder dem Zusammenwirken mehrerer dieser Faktoren zugeschrieben werden dürfen. Diese Teilstreuungen werden in passender Weise mit der sogenannten Reststreuung, die den unvermeidlichen Versuchsfehler repräsentiert, verglichen. Diese Methode erlaubt einen objektiven Schluß auf die Wirksamkeit der Faktoren. Die

Technik der Versuchsanlage und Versuchsauswertung ist bei R. A. Fischer (2), C. H. Goulden (3) und A. Linder (6) eingehend beschrieben.

III. Ergebnisse

1. Der Einfluß der untersuchten Faktoren auf die Keimung von Lärchensamen

In der Zeit vom 21. Juni bis 31. August 1946 (= 71 Tage) keimte unter den verschiedenen Bedingungen folgende Anzahl Lärchensamen:

Tabelle 3

Keimergebnis nach 71 Tagen

Wassermenge	500 ccm			300 ccm		
Rel. Lichtgenuß	93 %	53 %	3 %	93 %	53 %	3 %
Boden						
Rendzina	147	104	56	52	174	83
	158	116	67	20	147	181
Waldbraunerde	202	186	99	94	238	99
	225	245	120	57	205	148
Humussilikatboden	148	255	92			
	153	240	103			
Rohhumus				47	210	140
				86	199	171

Die Keimung auf der «Rendzina» und auf der «Waldbraunerde» kann durch alle vier Versuchsblöcke hindurch verfolgt werden. Das zusammengefaßte Versuchsergebnis ist in Tabelle 4 wiedergegeben:

Tabelle 4

Faktor	500 ccm H_2O		300 ccm H_2O		Summe
	Rendzina	Braunerde	Rendzina	Braunerde	
Licht 93 %	305	427	72	151	955
53 %	220	431	321	443	1415
3 %	123	219	264	247	853
Summe	648	1077	657	841	3223

Tabelle 5

Streuungszerlegung für die Faktorenwirkung

Einfluß	Freiheitsgrad	Quadratsummen	F (Test) berechnet	0,01
Blöcke I, IV Rep.	1	1 563	1,7	10,04
Blöcke II, III Rep.	1	27	0,0	
Licht L	2	22 410	12,5*[3]	7,56
Boden B	1	15 656	17,4*	10,04
Wasser W	1	2 147	2,5	10,04
L × B[4]	2	4 035	2,3	7,56
L × W	2	35 405	19,8*	7,56
B × W	1	2 502	2,8	10,04
L × W × B	2	315	0,2	7,56
Versuchsfehler	10	8 937		
Summe	23	92 997		

Damit ist der Einfluß reiner Bodenfaktoren objektiv nachgewiesen, die Versuchsfrage a grundsätzlich beantwortet. Auf dem Kalkboden war die Keimung deutlich gehemmt gegenüber jener auf der Waldbraunerde (1305 gekeimte Samen auf der Rendzina, 1918 gekeimte Samen unter gleichen übrigen Bedingungen auf der Waldbraunerde). Gesichert ist auch der Einfluß des Lichtes und, im Zusammenwirken mit diesem, des Wassers auf die Keimung.

Tabelle 6

Vergleich des Silikatrohbodens mit Waldbraunerde und Rendzina bei 500 ccm Wasser

Faktoren		Anzahl gekeimte Samen Rendzina	W'braunerde	Silikatrohboden	Summe
Lichtgenuß	93 %	305	427	301	1033
	53 %	220	431	495	1146
	3 %	123	219	195	537
Summe		648	1077	991	2716

[3] Anmerkung: Gesicherte Testwerte von F werden im folgenden immer mit einem * versehen.

[4] L × B = abgekürzte Schreibweise für das Zusammenwirken der Faktoren.

Tabelle 7

Ergebnis der Streuungszerlegung

Faktoren	Freiheitsgrad	Quadratsummen	F (Test) berechnet	0,01
Blöcke	1	1 058	5,5	11,26
Licht L	2	34 982	90,7*	8,65
Boden B	2	17 172	44,4*	8,65
L × B	4	11 160	14,5*	7,01
Versuchsfehler	8	1 546		
Summe	17	65 918		

Die verschiedene Keimung auf den drei Bodenformen ist auch hier gesichert. Der Silikatrohboden erweist sich im Versuch als geeigneter für die Keimung von Lärchensamen als der humose Kalkboden. Er ist aber der humosen Waldbraunerde offenbar noch nicht ebenbürtig.

Tabelle 8

Vergleich Rohhumus, Rendzina, Waldbraunerde bei 300 ccm Wasser

Faktoren	Anzahl gekeimte Samen auf Rendzina	Braunerde	Rohhumus	Summe
Licht 93 %	72	151	133	356
53 %	321	443	409	1173
3 %	264	247	311	822
Summe	657	841	853	2351

Tabelle 9

Ergebnis der Streuungszerlegung

Faktoren	Freiheitsgrad	Quadratsummen	F (Test) berechnet	0,01
Blöcke	1	330	0,3	11,26
Licht L	2	55 991	24,7*	8,65
Boden B	2	4 024	1,8	8,65
L × B	4	2 754	0,6	7,01
Versuchsfehler	8	9 080		
Summe	17	72 179		

Der Versuchsfehler ist hier aus unbekannten Gründen sehr groß. Der Unterschied in der Keimung kann nicht als Ausdruck der Bodenfaktoren identifiziert werden. Der Versuch müßte wiederholt werden. Dagegen ist der Einfluß der

Lichtwirkung auch hier gesichert. Er ist hier sogar bedeutend stärker als bei 500 ccm Wasser.

Zusammenfassend über diesen Abschnitt sei festgehalten:

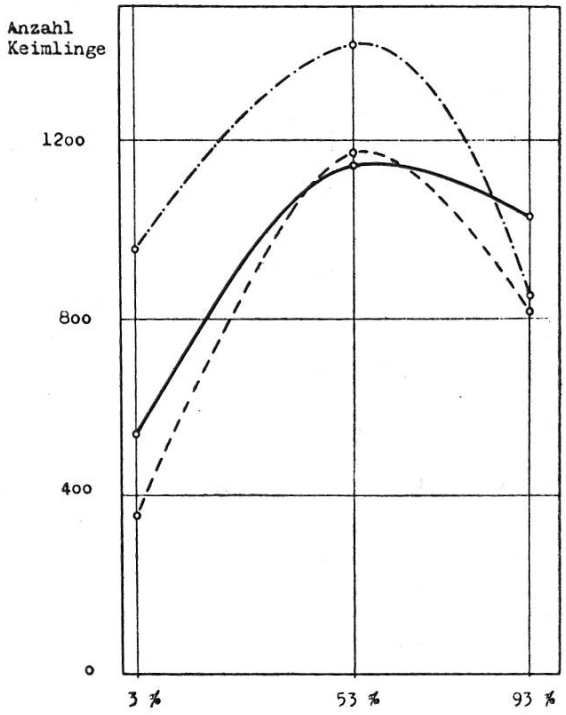
Es konnte nachgewiesen werden, daß die Keimung der Lärchensamen — vorerst unberücksichtigt, ob die Keimlinge dauernd lebensfähig bleiben oder nicht — auch durch den Faktorenkomplex «Boden» wesentlich beeinflußt wird. Im Versuch sind die Böden nicht in ihrer natürlichen Lagerung verglichen worden. Die Versuchsböden sind vielmehr mit Keimböden auf künstlichen Schürfflächen im Wald zu vergleichen. Welche Komponenten des Bodenfaktorkomplexes speziell keimungshemmend oder -fördernd wirken, geht aus dem Versuch nicht hervor.

Die Beobachtung zeigte, daß die Samen im Kalkboden bei dessen Austrocknung sehr fest mit den Bodenteilchen verbacken und eingeschlossen bleiben, wie von einer Faust umklammert. Der Silikatrohboden und die Waldbraunerde bewahrten auch beim Austrocknen ihre Einzelkornstruktur. Es ist möglich, daß sich der Kalkboden zum Teil deshalb weniger für die Keimung von Lärchensamen (und anderen?) eignet. Sicher sind damit die Unterschiede noch nicht ganz erklärt. Dies beweist auch das ganz verschiedene Wachstum der Keimlinge auf den Versuchsböden. (Die Resultate der Keimlingsausmessung werden später mitgeteilt. Immerhin sei schon vorweg genommen, daß die Keimlinge auf der Waldbraunerde in jeder Beziehung die größten und schönsten waren.)

2. *Die weitere Zerlegung des Lichtfaktors*

Im vorausgehenden Abschnitt wiederholt sich bei allen Vergleichen die Erscheinung, daß die Keimung bei mittlerem Lichtgenuß am größten war (Tab. 4, 6, 8). Der Verlauf der Gesamtlichtwirkung mit veränderlichem Lichtgenuß kann statistisch in eine lineare (L_1) und eine quadratische (L_q) Komponente zerlegt werden (Goulden [3], Seite 166 ff.).

Bild 3



rel. Lichtgenuß

Keimungsverlauf bei wechselndem relativem Lichtgenuß

Bl. I—IV —·— Rendzina + Waldbraunerde
II + III ——— Rendzina + Waldbraunerde + Silikatrohboden
I + IV — — — Rendzina + Waldbraunerde + Rohhumus

Tabelle 10

Mathematischer Vergleich von linearem und quadratischem Verlauf der Lichtwirkung unter den verschiedenen Versuchsbedingungen

Verglichene Böden	Einfluß	Freiheitsgrad	Streuung	F (Test) berechnet	F (Test) 0,01
Rendzina +	L_1	1	650	0,73	4,75
Braunerde (Tab. 4, 5)	L_q	1	21 760	24,4*	4,75
	Fehler	10	894		
Rendzina + Braunerde	L_1	1	20 501	106,2*	10,56
Silikatrohboden (Tab. 6, 7)	L_q	1	14 480	75,0*	10,56
	Fehler	8	193		
Rendzina + Braunerde +	L_1	1	18 096	15,9*	10,56
Rohhumus (Tab. 8, 9)	L_q	1	37 895	33,2*	10,56
Fehler		8	1 135		

Diese Streuungszerlegung beweist, daß die quadratische Komponente der Lichtwirkung überall gesichert ist. Die größte Keimungszahl bei mittlerer Belichtung ist somit nicht bloß zufälliger Art, sondern ein Ausdruck für optimale Bedingungen innerhalb des Versuches.

Es ist klar, daß der Faktor «Licht» in dieser Fassung ein Sammelausdruck für verschiedene Teileinwirkungen ist. Insbesondere ist darin auch die Möglichkeit eines Bodentemperatureinflusses eingeschlossen. Um diese zu untersuchen, wurde die Temperatur der Keimböden in den Saatschalen gemessen. 24 einfache Chemiethermometer wurden zu diesem Zwecke wahllos wechselnd an irgendeiner Stelle der Oberfläche zirka 1 cm tief in die Saaterde gesteckt und immer gleichzeitig abgelesen. Nach jeder Ablesung vertauschte ich die Thermometer zwischen den Schalen der Blöcke I und II in zufälliger Art. Die Meßresultate sind dadurch unabhängig von eventuellen Eichfehlern bei den Thermometern.

Es ist zu vermuten, daß die extremen Temperaturen den entscheidenden Einfluß auf die Keimung ausüben. Für die Auswertung sind deshalb 24 × 24 gleichzeitige, über Tag und Nacht verteilte Ablesungen — innerhalb einer Schönwetterperiode zur Zeit der stärksten Keimung — verwendet worden.

Tabelle 11

Temperatursummen aus je 24 gleichzeitigen Ablesungen

L = relativer Lichtgenuß

Faktoren	300 ccm Wasser			500 ccm Wasser			Summe	Durchschnitt
	93%L	53%L	3%L	93%L	53%L	3%L		
Rendzina	669,5	475,5	372,0	640,5	497,5	374,5	3029,5	21,03
Waldbraunerde	724,0	504,5	385,5	683,0	503,5	372,0	3172,5	22,03
Humus-Silikatboden	—	—	—	670,5	489,5	360,5	1520,5	21,12
Rohhumus	733,5	494,0	396,0	—	—	—	1623,5	22,55
Summe	2127,0	1474,0	1153,5	1994,0	1490,5	1107,0	9346	21,634
Durchschn.	29,542	20,472	16,021	27,694	20,701	15,375		

Tabelle 12

Untersuchung des Faktoreneinflusses auf die Bodenoberflächentemperatur in den Saatschalen

Rendzina, Waldbraunerde, Rohhumus bei 300 ccm Wasser

Faktoren	Freiheitsgrad	Quadratsumme	F (Test) berechnet	0,01
Licht L	2	6238	381,7*	4,71
Boden B	2	97	5,9*	4,71
L × B	4	611	18,7*	3,41
Versuchsfehler	207	1691		
Summe	215	8637		

Tabelle 13

Rendzina, Waldbraunerde, Silikatrohboden

bei 500 ccm Wasser

Faktoren	Freiheitsgrad	Quadratsumme	F (Test) berechnet	0,01
Licht L	2	5496	444,6*	4,71
Boden B	2	17	1,4	4,71
L × B	4	33	1,3	3,41
Versuchsfehler	207	1279		
Summe	215	6825		

Tabelle 14

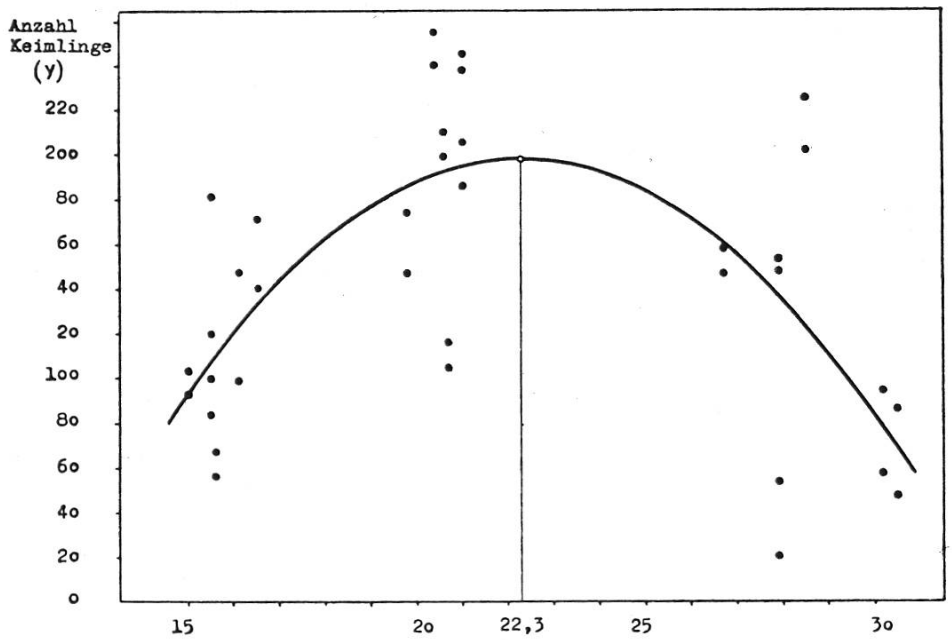
Rendzina, Waldbraunerde bei 500 und 300 ccm Wasser

Faktoren	Freiheitsgrad	Quadratsumme	F (Test) berechnet	0,01
Licht L	2	7779,8	1089*	4,70
Boden B	1	71,0	19,9*	6,73
Wasser W	1	12,5	3,5	6,73
L × B	2	41,0	5,8*	4,70
L × W	2	44,4	6,2*	4,70
W × B	1	8,8	2,4	6,73
L × W × B	2	0,9	0,1	4,70
Versuchsfehler	276	985,7		
Summe	287	8944,1		

Die Streuungszerlegungen beweisen, daß die Bodentemperaturen systematisch durch die Faktoren Licht, Boden und z. T. Wasser beeinflußt sind. Damit ist die Voraussetzung für einen systematischen Temperatureinfluß auf die Keimung nachgewiesen.

Bild 4

Zusammenhang zwischen Bodentemperatur und Keimung von Lärchensamen



Bodentemperatur in ⁰ Celsius (x)

In Bild 4 sind die Keimzahlen der Blöcke III und IV bei den Temperaturwerten der entsprechenden Schalen der Blöcke I und II eingesetzt worden. Dieser Schritt ist, wie die Nachprüfung zeigte, erlaubt. Durch den Punkteschwarm wurde mittelst rechnerischer Methoden der Verlauf einer idealisierten Wirkungskurve, der Regressionskurve, ermittelt. Diese Kurve erfüllt folgende Bedingung:

$$\sum_{1}^{36} (y_i - Y_i)^2 \longrightarrow \text{Minimum.}$$

Dabei bedeuten:

y_i = beobachtete Zahl gekeimter Samen bei der Temperatur i;
Y_i = berechnete Zahl gekeimter Samen bei der Temperatur i.

Die analytische Form der berechneten Regressionskurve ist:

$$Y' = 56{,}23 + 3{,}11\ x' - 1{,}92\ x'^2$$

worin: $Y' = y - 140$; $x' = x - 21{,}5$ (Korr.-Koeff. $r = 0{,}66$).

Die Berechnung der Regressionskurve erlaubt, die Gesamtstreuung aller beobachteten Werte um ihren Durchschnitt in zwei Komponenten zu zerlegen. Diese stehen in einer einfachen Beziehung zueinander:

1 Streuung der Regressionswerte um ihren Durchschnitt,
2 Streuung der beobachteten Werte um die Regressionskurve,

1 + 2 Streuung der beobachteten Werte um ihren Durchschnitt (Gesamtstreuung).

Die mathematische Prüfung ergibt, daß die Streuung der Keimung-Temperatur-Regressionswerte um den Gesamtdurchschnitt einen wesentlichen Bestandteil der Gesamtstreuung bildet. Damit ist zugleich bewiesen, daß der Faktor Temperatur tatsächlich einen wirksamen Einfluß auf die Keimung der Lärchensamen ausübt. Dieser Einfluß wird durch die Regressionskurve dargestellt.

Bedeutungsvoll ist, daß die reine Temperaturwirkung ein ausgeprägtes Optimum aufweist. Dieses kann aus der = Null gesetzten ersten Ableitung der analytischen Regressionsformel leicht errechnet werden. Im vorliegenden Versuch liegt es bei 22,3° C. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Angaben von *Kinzel* (4).

Es interessiert nun aber noch weiter die Frage:

Bleibt nach rechnerischer Ausschaltung der reinen Temperaturwirkung des Lichtes immer noch ein Einfluß des Lichtes nachweisbar?

Erst in dieser Restwirkung dürfte man einen direkten, reinen Lichteinfluß erblicken.

Zur Untersuchung dieser Frage sind von allen beobachteten Keimzahlen die errechneten zugehörigen Regressionswerte — als Ausdruck für die Temperaturwirkung — subtrahiert worden.

Tabelle 15

Abweichungen der beobachteten Keimzahlen von der Regressionskurve

Faktoren	500 ccm Wasser Rendzina	Waldbraunerde	Silikatrohboden	300 ccm Wasser Rendzina	Waldbraunerde	Rohhumus	Summe
Licht 93 %	— 13	+ 78	+ 10	— 85	+ 16	— 22	— 16
	— 2	+101	+ 16	—118	— 21	+ 18	— 6
53 %	— 88	— 8	+ 64	— 12	+ 44	+ 18	+ 18
	— 77	+ 51	+ 50	— 39	+ 11	+ 7	+ 3
3 %	— 55	— 9	— 3	— 26	— 24	+ 7	—110
	— 44	+ 11	+ 8	+ 73	+ 25	+ 38	+111
Summe	—279	+224	+145	—207	+ 51	+ 66	0

Tabelle 16

Untersuchung der Faktorenwirkung ohne Temperatureinfluß bei 500 ccm Wasser

Faktoren	Freiheitsgrad	Quadratsumme	F (Test) berechnet	0,01
Blöcke	1	1 812	18,9*	11,26
Licht linear	1	6 627	69,0*	11,26
Licht quadratisch	1	361	3,8	11,26
Boden B	2	24 390	127,0*	8,65
L × B	4	10 593	27,6*	7,01
Versuchsfehler	8	768		
Summe	17	44 551		

Tabelle 17

Untersuchung der Faktorenwirkung ohne Temperatureinfluß bei 300 ccm Wasser

Faktoren	Freiheitsgrad	Quadratsumme	F (Test) berechnet	0,05
Blöcke	1	338	0,3	5,32
Licht linear	1	7 752	6,7*	5,32
Licht quadratisch	1	870	0,75	5,32
Boden B	2	7 851	3,4	4,46
L × B	4	8 900	1,9	3,84
Versuchsfehler	8	9 287		
Summe	17	34 998		

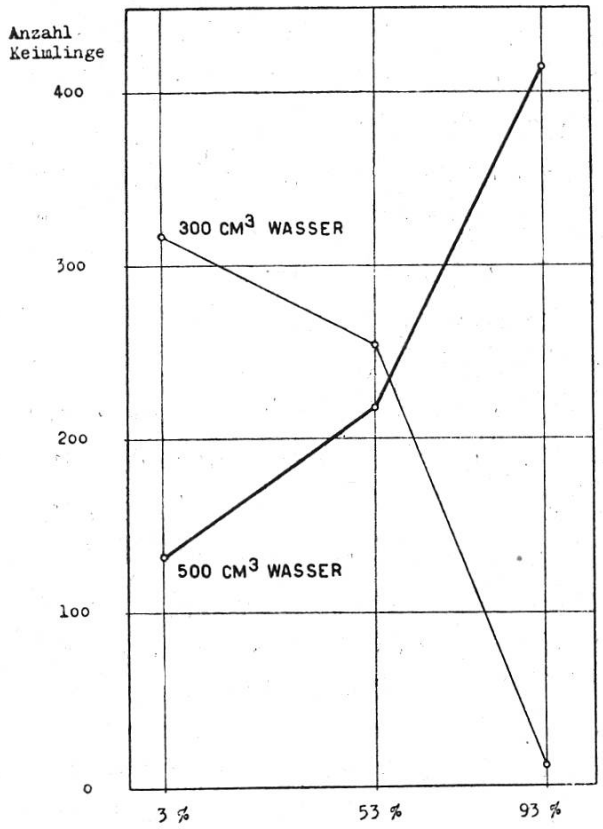
Der Einfluß des Lichtes ist auch nach Ausschaltung der Temperaturwirkung noch sichtbar. Die Gesamtlicht-

wirkung setzt sich somit aus mindestens zwei Komponenten zusammen:

a) Temperaturwirkung des Lichtes (indirekte Komponente),
b) physiologische Lichtwirkung
(direkte Komponente; vgl. *Schmidt W.* [7]).

Bild 5

Direkte Wirkung des Lichtes bei verschiedener täglicher Wasserzugabe, 500 ccm und 300 ccm



Relativer Lichtgenuß

Die Streuungszerlegung zeigt weiter, daß für die direkte Lichtwirkung kein Optimum mehr nachweisbar ist. Sie äußert sich, im Gegensatz zur Temperaturwirkung, in einem linearen Zu- oder Abnehmen der Keimung mit wachsendem Lichtgenuß. Für die weitere Diskussion liefert die Gegenüberstellung der Keimergebnisse bei den zwei verschiedenen Feuchtigkeitsverhältnissen eine wertvolle Grundlage.

Bei einer täglichen Wassermenge von 500 ccm pro Schale war die Austrocknung der Saaterdeoberfläche im Tagesverlauf nie extrem. Die Keimung nimmt linear mit dem Licht-

genuß zu. Die Strahlungsintensität des Sonnenlichtes erreicht hier offenbar bis zu der untersuchten oberen Grenze von 70 000 Lux noch keinen irgendwie schädlichen Grad. Forstlich-praktisch gesehen, wird daher bei genügender Feuchtigkeit das Öffnen des Bestandesschlusses bis zum hundertprozentigen Lichtgenuß auf den Keimstellen die direkte Lichtwirkung immer eine Steigerung der Keimung hervorrufen. (Nicht aber die indirekte Lichtwirkung!)

Wo hingegen wenig Feuchtigkeit vorhanden ist, Beispiel 300 ccm Wasser pro Schale und Tag, s i n k t die Keimung mit wachsendem Lichtzutritt. Dieses gegenteilige Verhalten bei gleicher Lichtquantität und -qualität muß wohl auf das Mitwirken des Wasserfaktors zurückgeführt werden. Für die Auslösung des Keimungsvorganges ist ein gewisses Maß von Feuchtigkeit notwendig. Unter an sich trockeneren Bedingungen wird dieser Schwellenwert bei steigendem Lichtzutritt immer häufiger unterschritten infolge der gesteigerten Austrocknung. Die Keimungshäufigkeit sinkt.

Die Gegenüberstellung der Keimergebnisse auf Waldbraunerde und Rendzina in allen vier Versuchsblöcken bestätigt die vorausgehende Vermutung: Das Zusammenwirken des Licht- und Wasserfaktors ist gesichert.

Tabelle 18

Vergleich der Faktorenwirkung bei Rendzina und Waldbraunerde ohne Temperatureinfluß des Lichtes

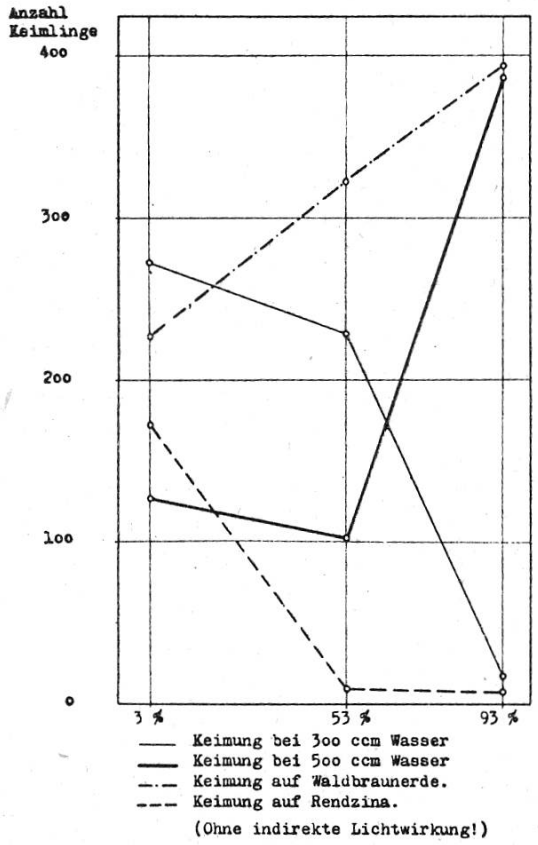
(Blöcke I—IV)

Faktoren	Freiheitsgrad	Quadratsumme	F (Test) berechnet	0,01
Blöcke I und IV	1	1 519		
Blöcke II und III	1	27		
Licht L	2	428		
Boden B	1	24 130	26,7*	4,96
Wasser W	1	425		
L × B	2	7 780	4,3*	4,10
L × W	2	21 486	11,8*	4,10
W × B	1	2 501		
L × B × W	2	1 503		
Versuchsfehler	10	9 079		
Summe	23	68 878		

Der Einfluß des Lichtes läßt sich hier auch im Zusammenwirken mit dem Boden gesichert nachweisen.

Bild 6

Graphischer Vergleich des Zusammenwirkens von Licht–Wasser und Licht–Boden



Bei der größeren täglichen Begießungsmenge bewirkt steigender Lichtgenuß generell ein Zunehmen der Keimungshäufigkeit. Die gleiche Erscheinung ist im Prinzip auch auf der Waldbraunerde feststellbar. Bei der kleineren Wassermenge sinkt dagegen die Keimung mit wachsendem Lichtzutritt. Ganz analog ist der Keimungsverlauf auch auf der Rendzina. Die beiden Bodenformen haben also eine ähnliche Wirkung auf das Keimen von Lärchensamen wie verschieden starke Wasserzugaben. Man ist daher geneigt, ihr unterschiedliches Verhalten auf verschiedenstarke Wasserbindung zurückzuführen. Eingehende Untersuchungen des Wasserhaushaltes der beiden Böden müßten diese Vermutung aber noch bestätigen.

3. *Der Einfluß der Faktoren auf den Keimlingsabgang*

Ein weiterer Zweck des Versuches bestand darin, abzuklären, welche Faktoren und Faktorenkombinationen das Absterben von Lärchenkeimlingen speziell verursachen. In Tabelle 19 sind die abgestorbenen Samen jeder Schale den gekeimten gegenübergestellt:

Tabelle 19

	500 ccm Wasser						300 ccm Wasser						Abgang in % der gekeimten Samen
	Rendzina		W. Br.-erde		Si-Rohbod.		Rendzina		W. Br.-erde		Rohhum.		
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	
Licht 93 %	147	45	202	32	148	69	52	6	94	28	47	28	29
	158	61	225	44	153	45	20	4	57	25	86	17	
53 %	104	70	186	30	255	102	174	55	238	30	210	146	32
	116	71	245	34	240	64	147	58	205	41	199	40	
3 %	56	47	99	91	92	82	83	65	99	73	140	100	73
	67	63	120	96	103	70	181	111	148	95	171	101	
Summe	648	357	1077	327	991	432	657	299	841	292	853	452	42
Abgang in % der gekeimten Samen		55		30		42		45		35		53	

x = in 71 Tagen gekeimte Samen.
y = in 71 Tagen gekeimte, später eingegangene Samen und Keimlinge.

Bei der Prüfung der Faktorenwirkung ging der Streuungszerlegung eine sogenannte lineare Abhängigkeitszerlegung voraus. Dadurch ist erreicht worden, daß die Faktorenwirkung unabhängig von linearen Zusammenhängen zwischen Zahl gekeimter Samen und Zahl abgestorbener Samen pro Schale verglichen werden konnte.

Tabelle 20

Prüfung der Faktorenwirkung auf Keimlingsabgang bei Rendzina und Waldbraunerde (Blöcke I—IV)

(Analysis of Covariance. *Goulden* [3], Seite 250 ff.)

Faktoren	Freiheitsgrad	$\Sigma(x-\bar{x})^2$ A	$\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})^2$ B	$\Sigma(y-\bar{y})^2$ C	$\frac{B^2}{A}$	$\Sigma(y-Y)^2$ C $\frac{B^2}{A}$	Freiheitsgrad	Streuung	F (Test) berechnet	F (Test) 0.01
Blöcke										
I und IV	1	1 563	600	243						
II und III	1	27	116	494						

Faktoren	Freiheitsgrad	$\sum(x-\bar{x})^2$ A	$\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})^2$ B	$\sum(y-\bar{y})^2$ C	$\frac{B^2}{A}$	$\sum(y-Y)^2$ C $\frac{B^2}{A}$	Freiheitsgrad	Streuung	F (Test) berechnet	F (Test) 0.01
Licht L	2	22 410	—4814	10 044			1			
Fehler F	10	8 937	2383	983	635	348	9	38,7		
L + F	12	31 347	—2431	11 017	188	10 829	11			
F						348	9			
L						10 481	2	5240	135,4*	8,02
Wasser W	1	2 147	880	360			1			
F	10	8 937	2383	983	635	348	9	38,7		
W + F	11	11 084	3263	1 343	961	382	10			
F						348	9			
W						34	1	34	0,9	10,56
Boden B	1	15 656	— 945	57			0			
F	10	8 937	2383	983	635	348	9	38,7		
B + F	11	24 593	1438	1040	84	956	10			
F						348	9			
B						608	1	608	*15,7	10,56
LW	2	35 404	7378	1661			1			
F	10	8 937	2383	983	635	348	9	38,7		
LW + F	12	44 341	9761	2644	2149	495	11			
F						348	9			
LW						147	2	73,5	1,9	8,02
LB	2	4 035	—3010	2329			1			
F	10	8 937	2383	983	635	348	9	38,7		
LB + F	12	12 972	— 627	3 312	30	3 282	11			
F						348	9			
LB						2 934	2	1467	37,9*	8,02
WB	1	2 502	— 234	106						
F	10	8 937	2383	983	635	348	9	38,7		
WB + F	11	11 439	2149	1089	404	685	10			
F						348	9			
WB						337	1	337	8,7	10,56
WBL	2	315	714	1696						
F	10	8 937	2383	983	635	348	9	38,7		
WBL + F	12	9 252	3097	2679	1037	1 642	11			
F						348	9			
WBL						1 294	2	647	16,7*	8,02

Die Faktoren Licht und Boden haben den Keimlingsabgang gesichert systematisch beeinflußt sowohl einzeln als auch im Zusammenwirken.

Aus Tabelle 19 ist ersichtlich, daß der Keimlingsabgang auf der Rendzina wesentlich größer ist als auf der Waldbraunerde. Die Ursache dieser Erscheinung liegt zum Teil in der oberflächlichen, stärkeren Bodenverhärtung beim Austrocknen der Rendzina. Gekeimte Samen können ihre Wurzeln nicht in den Boden senken, sondern nur äußerlich an diesen anheften und fallen beim Größerwerden um. Sie vertrocknen.

Mit abnehmendem Lichtgenuß steigt die Zahl der Abgänge im allgemeinen rasch an, auf der Rendzina aber nicht in gleicher Weise wie auf der Waldbraunerde.

Tabelle 21

Vergleich der Keimlingsabgänge auf Rendzina und Waldbraunerde

Relativer Lichtgenuß	Waldbraunerde Abgänge in % der gekeimten Samen	Rendzina Abgänge in % der gekeimten Samen
93 %	22	24
53 %	15	47
3 %	76	74

Dieses unterschiedliche Verhalten ist, als Ausdruck des Zusammenwirkens von Licht und Boden, mathematisch gesichert. Demnach ertragen die gekeimten Lärchensamen auf der Waldbraunerde eine relative Lichtabschirmung bis 50 % des Freilandlichtes besser als auf der Rendzina. Bei der ganz starken Abschirmung wird das Licht deutlich zum Minimumfaktor und übertönt den Einfluß des Bodens.

Die Einflüsse von Licht und Boden auf Keimung und Keimlingsabgang verstärken sich somit gegenseitig. Die Unterschiede bei der wirksamen Keimung der Lärchensamen unter verschiedenen Bedingungen sind daher noch deutlicher.

Tabelle 22

Vergleich der wirksamen Keimung der Lärchensamen in den Versuchsschalen
(nach 107 Tagen)

Relativer Lichtgenuß	500 ccm Wasser			300 ccm Wasser			Summe
	Rendzina	Waldbraunerde	Silikatrohboden	Rendzina	Waldbraunerde	Rohhumus	
93 %	71	124	41	37	47	12	707
	67	130	75	8	31	64	
53 %	31	98	117	84	160	84	1044
	38	122	108	79	37	86	
3 %	3	6	24	10	10	11	192
	3	7	2	43	45	28	
Summe	213	487	367	261	330	285	1943

Im Vergleich zu Tabelle 3 sind die Anzahlen ausgezählter Keimlinge nur kleiner, aber in ihrem gegenseitigen Verhältnis nicht grundsätzlich verändert. Die Wirkung der Faktoren ist dagegen hier deutlicher. Der sehr starke Abgang bei der stärksten Lichtabschirmung ist zum großen Teil durch Bakterienwirkung verursacht. Die Keimlinge zeigten fast ausnahmslos Einschnürungserscheinungen am Hypokotyl. Offenbar sind die Lebensbedingungen für die keimlingstötenden Bakterien bei diesem Kleinklima am günstigsten.

4. Weitere Beobachtungen

Bei den pflanzensoziologischen Untersuchungen natürlicher Lärchenverjüngungsstandorte im Arven-Lärchen-Wald des Oberengadins stellte ich fest, daß unter anderen *Viola biflora L.* zu den stetesten Arten gehört, die man in unmittelbarer Nähe jüngster natürlich angeflogener Lärchen findet. Es war deshalb eine interessante Beobachtung, daß diese Pflanze unerwarteterweise auf der Waldbraunerde auch in den Saatschalen keimte. Wahrscheinlich ist der Samen mit der Erde zusammen aus dem Wald eingeschleppt worden. Auf den übrigen drei Böden keimte sie nicht; ein Zeichen, daß der Samen nicht erst während des Versuches in den Schalen angeflogen war.

Tabelle 23

Auftreten und Deckung von Viola biflora L. unter den verschiedenen Bedingungen auf Waldbraunerde

	93 % rel. Lichtgenuß			53 % rel. Lichtgenuß			3 % rel. Lichtgenuß		
	Anzahl Stöcke	Anzahl Blätter	Deckung in cm² ca.	Anzahl Stöcke	Anzahl Blätter	Deckung in cm² ca.	Anzahl Stöcke	Anzahl Blätter	Deckung in cm² ca.
500 ccm H_2O	2	3	5	9	20	50	—	—	—
	—	—	—	3	5	10	—	—	—
300 ccm H_2O	2	5	8	1	1	2	1	1	2
	1	1	2	5	14	30	—	—	—
Summe	5	9	15	18	20	92	1	1	2
Verhältnis		9		18			1		

Viola biflora L. zeigt also eine ausgesprochene Vorliebe für Standorte, die auch für die Keimung der Lärchensamen am günstigsten sind. Damit ist das Ergebnis der pflanzensoziologischen Untersuchung wenigstens für diese Pflanze direkt bestätigt worden. Das üppige Gedeihen und häufige Auftreten dieser Art — speziell auf Rohboden — kann daher bis zu einem gewissen Grade vom Forstmann als Indikator eines für Lärchenanflug günstigen Kleinklimas angesehen werden.

5. Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

Boden, Licht und, wie in vorausgegangenen Versuchen gezeigt werden konnte, auch Wasser üben einen nachweisbaren starken Einfluß auf das wirksame Keimen von Lärchensamen aus.

Rohböden auf saurem oder intermediärem Muttergestein eignen sich besser für die natürliche Lärchenverjüngung als beispielsweise Kalkrohböden. Schon eine leichte Humusbeimischung in den Böden vermag das Wachstum und die Widerstandsfähigkeit der Keimlinge zu erhöhen. Die Ursache der unterschiedlichen Eignung verschiedener Böden für die Lärchensamenkeimung zu finden, war nicht der Zweck des Versuches. Es ging daraus trotzdem hervor, daß sie z. T. in physikalischen Boden-, speziell Bodenoberflächeneigenschaften zu suchen ist.

Die Wirkung des Lichtfaktors konnte in zwei Komponenten aufgespalten werden, nämlich:

a) in Temperaturwirkung des Lichtes (indirekte Lichtwirkung),
b) in direkte physiologische Lichtwirkung auf die Keimung.

Für den Forstmann ist es von praktischer Bedeutung, zu wissen, daß die Temperaturwirkung des Lichtes bei 20—24° Celsius mittlerer Tagestemperatur ein ausgeprägtes Optimum aufweist. Höhere und tiefere Temperaturen wirken rasch zunehmend keimungshemmend. Bei der direkten Lichtwirkung sind zwei Fälle zu unterscheiden:

Bei genügender Bodenfeuchtigkeit, d. h. ohne tageszeitlich wiederkehrende starke Austrocknung, wächst die Keimhäufigkeit fast proportional mit dem Lichtgenuß.

Auf trockenen Böden aber hindert wachsender Lichtgenuß die Keimung von Lärchensamen zusehends.

In der gegenseitigen Abwägung des Einflusses dieser beiden Lichtwirkungskomponenten kommt der Temperaturwirkung wesentlich größere Bedeutung zu. Bei der künstlichen Lichtdosierung durch Öffnen des Bestandesschlusses für eine bestimmte Verjüngungsfläche muß der Forstmann daher in erster Linie abschätzen, wie das Temperaturoptimum am ehesten erreicht, aber nicht überschritten wird. Hiezu müssen Bodenbeschaffenheit, Bodenbedeckung, Exposition, Feuchtigkeit, Klima usw. von Fall zu Fall in ihrer ganzen komplexen Gesamtheit beurteilt werden.

Die gleichen Faktoren, die keimungshemmend wirken, wirken in der Regel zugleich abgangsfördernd auf die Keimlinge.

In der Gesamtbeurteilung aller hier betrachteten Faktoren muß das Hauptaugenmerk auf die Licht- und Feuchtigkeitsverhältnisse gerichtet werden. Der Einfluß des Bodens tritt dagegen etwas zurück.

Die festgestellten Wirkungen können im wesentlichen wohl als Sameneigenschaften der Lärchen angesehen werden. Sie sind daher unter Lokalrassen vermutlich wenig veränderlich. Im Prinzip gelten die Ergebnisse, soweit sie den Faktoreneinfluß auf den Schwellungs- und Keimungsvorgang

wiedergeben, für alle geographischen Standorte. Bis zu einem gewissen Grade sind sie wohl auch übertragbar auf Samen anderer Holzarten (Fichte!).

Schließlich liegt die Übertragung von Ergebnissen der Grundlagenforschung auf konkrete Fälle immer beim Praktiker. Seinem persönlichen Ermessen, dem auch in Zukunft immer ein sehr weiter Spielraum gewahrt bleiben wird, sind somit Wert und Nutzen neuer Erkenntnisse auch kleinster Art, Erfolg oder Mißerfolg anheimgestellt.

Literaturangabe

1 Auer, Chr.: Untersuchungen über die natürliche Verjüngung der Lärche im Arven-Lärchenwald des Oberengadin. Mitteilungen der Schweiz. Anstalt für forstliches Versuchswesen, Band 25, Heft 1. Zürich, 1948.

2 Fisher, R. A.: Statistical Methods for Research Workers. 10. Auflage. Oliver and Boyd, London, 1946.

3 Goulden, C. H.: Methods of statistical Analysis. John Wilex & Sons, Inc., New York, 1939.

4 Kinzel.

5 Kujala, Viljo: Untersuchungen über den Bau und die Keimfähigkeit von Kiefern- und Fichtensamen in Finnland. Helsinki, 1927.

6 Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschafter, Mediziner und Ingenieure. Birkhäuser, Basel, 1945.

7 Schmidt, Werner: Unsere Kenntnis vom Forstsaatgut. «Der deutsche Forstwirt», Berlin, 1930.