

#### 4. Richard Harder: Ueber die Beziehung der Keimung von Cyanophyceensporen zum Licht.

(Mit 1 Abb. im Text.)

Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Keimung in enger Beziehung zum Licht steht. Es braucht nur an die Arbeiten von KINTZEL, GASSNER und LEHMANN erinnert zu werden, die sich mit der Keimung der Samen höherer Pflanzen beschäftigen. Die ersten Beobachtungen über die Bedeutung des Lichtes für die Keimung sind aber schon bedeutend älter als die Arbeiten der eben genannten Autoren und wurden an Kryptogamen gemacht. Schon 1843 hat UNGER den Einfluß des Lichtes auf die Keimung von *Vaucheria*zosporen beobachtet. An Kryptogamensporen sind dann auch die ersten Versuche gemacht worden, die qualitative und quantitative Wirkung des Lichtes näher zu analysieren und seinen Einfluß durch andere Faktoren zu ersetzen. Eine reiche Literatur liegt besonders über den letzten Punkt heute vor.

Für derartige Untersuchungen über die Lichtwirkung auf die Keimung hatte ich sehr schönes Material zur Verfügung in Form von artreinen, z. T. absolut bakterienreinen Kulturen einiger sporenbildender Cyanophyteen, nämlich *Anabaena variabilis*, *Cylindrospermum muscicola* und *Nostoc punctiforme*.

Sät man die Sporen der genannten Arten auf Agarplatten aus, die man an ein Fenster stellt, so sind gewöhnlich nach ein paar Tagen die meisten Sporen gekeimt.

Anders bei Lichtabschluß. Die Sporen von *Cylindrospermum* und *Anabaena* keimten auf Mineralsalzagarplatten im Dunkeln überhaupt nicht, die von *Nostoc punctiforme* nur zu einem geringen Prozentsatz. Auch bei *Nostoc* blieb die Keimung im Dunkeln zunächst aus. Erst bedeutend später als gleichzeitig angesetzte Kontrollen im Licht keimten weniger als 1 pCt. bis höchstens  $\frac{1}{3}$  der Sporen aus.

Die untersuchten Nostocaceensporen sind also typische Lichtkeimer, denn Keimung einiger % des ausgesäten Materials im Dunkeln ist auch bei anderen Pflanzen, die man zu den Lichtkeimern zählt, häufig zu beobachten, ohne daß man bisher genauer angeben könnte, worauf die Fähigkeit dieser Einzelnen zurückzuführen ist.

Bei den Cyanophyceen — wenigstens bei *Nostoc punctiforme* — scheint mir die Erklärung dafür relativ einfach zu sein. Es handelt sich offenbar in erster Linie um noch nicht völlig ausge-reifte Sporen. Das geht einerseits daraus hervor, daß man neben den Keimlingen, die auf anorganischem Boden im Dunkeln gekeimt sind, keine leere Sporenhülle findet. Bei den Keimlingen liegt sonst immer die Exine als deutliche Hohlkugel am Ende des jungen Fadens, die Dunkelkeimer lassen meistens keine solche Hülle zurück, sie haben also noch keine vollkommen ausgebildete Membran, sind also noch nicht ganz reif. Es sind offenbar die Stadien, die SAUVAGEAU bei *N. punctiforme* als „cocci“ bezeichnet. Andererseits nimmt die Zahl der im Dunkeln keimfähigen Sporen mit zunehmendem Alter stark ab. Im Maximum habe ich einmal aus einer vor 3 Monaten geimpften Kultur, in der die Sporen also noch nicht alt sein konnten, 30 pCt. Keimungen im Dunkeln erhalten, bei viele Monate alten Kulturen waren die Keimprocente stets viel niedriger. Um einen bestimmten Fall herauszugreifen ergaben sich aus einer ungefähr  $\frac{3}{4}$  Jahre alten Kultur im Dunkeln weniger als 1 : 1000 Keimungen, während die gleiche Kultur  $\frac{1}{2}$  Jahr früher 20 pCt. Dunkelkeimer geliefert hatte.

Versuche, die Keimung im Dunkeln künstlich hervorzurufen, führten im allgemeinen zu keinen sehr glänzenden Resultaten.

Darbietung reichlicher Stickstoffnahrung in Kombination mit schwachen Zuckermengen [0,01—1 pCt.  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ], die nach GASSNERS Erfahrungen günstig wirken könnte, schwache Ansäuerung des Keimbettes, mit der LEHMANN gute Resultate erzielte, waren wirkungslos. Ebenso hatte die Gabe mancher organischer Substanzen keinen Erfolg.

1—5 pCt. Pepton, 1 pCt. Asparagin, 2 pCt. Traubenzucker, 1—5 pCt. Glycerin waren wirkungslos. Die Zahl der Keimlinge war weder an den ersten Beobachtungstagen noch nach mehreren Wochen höher als auf Mineralsalzagar, auf einigen Substraten war sie sogar deutlich niedriger, besonders in höherer Konzentration.

Ein eindeutiger, einwandfreier Erfolg war dagegen auf Rohrzucker zu verzeichnen. 0,1 pCt. wirkten wegen zu niedriger Konzentration nur mäßig, auf 1 pCt. und vor allem auf 5 pCt. Rohrzucker war aber eine starke Förderung der Dunkelkeimung zu erkennen. Die Keimung ging allerdings langsamer vor sich als im Licht, es waren z. B. bei einem Versuch der mit Material gleicher Herkunft in Parallelreihen auf sehr schwacher Zuckerkonzentration im Licht und auf höherer im Dunkeln gemacht worden, folgendes Verhältnis zu finden:

Tabelle 1.

Keimungsgeschwindigkeit der Sporen von *Nostoc punctiforme*  
unter verschiedenen Bedingungen.

Keimprozent am . . . Versuchstag

		7	11	21	45
A	0,1 % Rohrzucker im Licht bei 15 ° C	20	100	—	—
B	5 % Rohrzucker im Dunkeln bei 15 ° C	0	47	84	100
C	5 % Rohrzucker im Dunkeln bei 30 ° C	45			

Es führten also, wenn auch langsam, 5 pCt. Rohrzucker schließlich zur Keimung aller Sporen im Dunkeln. Auf 1 pCt. Rohrzucker war die Förderung der Dunkelkeimung ebenfalls deutlich, die Konzentration von 10 pCt. war jedoch zu hoch, die Keimung unterblieb darauf vollkommen.

Um auch noch andere Faktoren zur Förderung der Dunkelkeimung heranzuziehen, wurden die Sporen teilweise direkt nach der Aussaat 3 Stunden lang in einen Thermostat, der auf 50 ° C eingestellt war, gebracht, teilweise dauernd bei 30 ° C kultiviert.

Die Exposition bei 50 ° C hatte nur schädliche Nachwirkungen, dagegen war die Kultur bei 30 ° C entschieden vorteilhaft. Während z. B. bei Zimmertemperatur auf 5 pCt. Rohrzucker am 7. Tag überhaupt noch keine Keimung zu verzeichnen war, betrug die Zahl der Keimlinge bei 30 ° C auf dem gleichen Substrat schon 45 pCt. (siehe Tabelle 1).

Künstliche organische Ernährung und Kultur bei 30 ° C, letztere allerdings nur in Kombination mit geeigneten organischen Substanzen, vermögen also die Lichtwirkung vollkommen zu ersetzen, so daß eine restlose Keimung der Sporen im Dunkeln stattfindet.

Um die Lichtwirkung näher zu analysieren, wurden verschiedene Lichtintensitäten zur Belichtung der Sporenaussaaten benutzt<sup>1)</sup>. Je intensiver das Licht war, desto intensivere Keimung trat ein.

1) Diese und alle folgenden Versuche wurden nur mit *Nostoc punctiforme* ausgeführt.

Nach 72stündiger Dauerbeleuchtung wurde z. B. folgendes Resultat beobachtet (Tab. 2):

Tabelle 2.  
Beziehung der Keimung zur Lichtintensität.

Lichtintensität (Meterkerzen)	200	88,8	12,5	5
Keimprocente	97	50	0,25	0

Bei längerer Ausdehnung der Versuchszeit zeigte sich dann, daß auch bei den schwachen Lichtintensitäten allmählich immer mehr Sporen keimten.

Dieses allmähliche Ansteigen der Keimzahl bei schwachem Licht zeigt, daß die Sporen nicht alle im gleichen Zeitpunkt keimen, nach irgend einer bestimmten Zeit alle gleichzeitig, sondern daß große individuelle Schwankungen vorliegen. Ein Teil der Sporen keimt bald, andere viel später.

Bei einem Versuche mit einer Lichtintensität von 12,5 Meterkerzen waren z. B. nach 48 Stunden 0,6 pCt. Sporen gekeimt. Der Rest folgte nun nicht etwa rasch hinterher, sondern am 17. Versuchstag waren erst 25 pCt. der Sporen gekeimt. Zur Steigerung von 0,6 auf 25 pCt. Keimlinge war also ein Zeitraum von 15 Tagen nötig, bei Fortgang im gleichen Tempo würden also alle Sporen erst nach 60 Versuchstagen gekeimt sein können.

Bei ganz konstanten Außenbedingungen, bei gleicher Beleuchtung und gleicher Herkunft des Materials, keimten also die ersten Sporen eines Satzes schon am 2. Tag, die letzten erst nach 60 Tagen. Bei schwächerem Licht wurde dieses Zeitintervall noch größer.

Es leuchtet wohl ohne weiteres ein, daß bei so außerordentlich großen individuellen Schwankungen alle quantitativen Untersuchungen über Gesetzmäßigkeiten bei der Keimung nur bei großer Sorgfalt in der Beobachtung und sehr ausgedehnten Versuchen zu einem Ziele führen können.

Auf eine Anzahl anderer Momente, welche die Ergebnisse beeinträchtigen, soll hier nicht eingegangen werden.

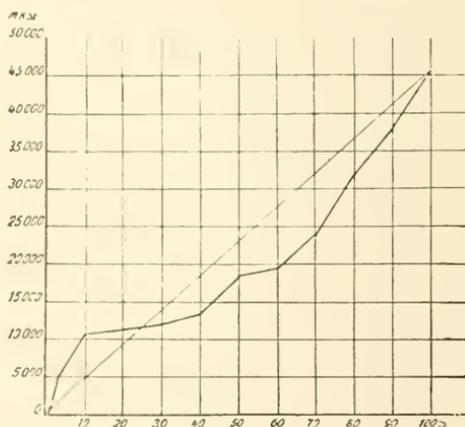
Nach der Ermittlung, daß die Intensität des Lichtes die Keimung der *Nostoc*sporen weitgehend beeinflusst, drängt sich die Frage auf, ob auch die Lichtmenge einen Einfluß auf die Keimung ausübt.

Daß das der Fall ist, zeigt folgender Versuch (Tab. 3), bei dem die Zeit bis zum Eintritt von 90 bis 100 pCt. Keimlingen bei verschiedenen Lichtintensitäten beobachtet wurde.

Tabelle 3.  
Beziehung der Keimung zur Lichtmenge.

Lichtintensität: (Meterkerzen)	200,0	88,8	50,0	12,5
Keimungszeit: (Stunden)	72	120	288	1632
Lichtmenge: (Meterkerzenstunden)	14 400	10 656	14 400	20 400

Die Keimung findet also bei Zufuhr von 10 000 bis 20 000 Meterkerzenstunden statt. Wenn die Werte im Einzelnen auch stark schwanken, so ist diese Schwankung doch unabhängig von der Intensität, denn sonst müßten wir ja eine aufsteigende oder absteigende Zahlenreihe gemäß der Intensitätsfolge finden. Mit



Kurve 1.  
Beziehung zwischen Keimprozenten und Lichtmenge.

anderen Worten: es ist ein neuer Fall für die Gültigkeit des Produktgesetzes gefunden, die Keimung der Sporen von *Nostoc punctiforme* findet bei einer bestimmten aus dem Produkt der Lichtintensität und der Belichtungszeit gebildeten Lichtmenge statt.

Nicht nur die Vollkeimung hängt in dieser Weise von der Lichtmenge ab, sondern auch alle niedrigeren Keimungswerte.

Das zeigt Kurve 1, in der das Gesamtergebnis eines Versuches dargestellt ist, bei dem 8 verschiedene Lichtintensitäten zwischen 300 und 3 Meterkerzen zur Anwendung kamen.

Auf der Abscisse sind die Keimprocente abgetragen, auf der Ordinate die Lichtmengen. Die resultierende Kurve hält sich ohne besonders große Abweichungen an die ideale Mittellinie.

Über die Abhängigkeit der Keimung im Einzelnen von der Lichtintensität, beziehungsweise Lichtmenge mögen folgende Angaben dienen. Bei einem Versuch waren am 5. Versuchstage nach 120 Stunden Belichtung bei den verschiedenen Lichtintensitäten die in Tabelle 4 wiedergegebenen Keimprocente zu beobachten.

Tabelle 4.

Beziehung zwischen Lichtmenge und Keimprozenten nach 120 Stunden Belichtung.

Lichtintensität (Meterkerzen)	Lichtmenge (Meterkerzen- stunden)	Keimprocente		Abweichung
		gefunden	berechnet	
300	36 000	20,4	19,2	+ 0,8
200	24 000	13,5	12,8	+ 0,7
160	19 200	9,9	10,2	- 0,3
120	14 400	5,5	7,7	- 2,2
80	9 600	1,1		
50	6 000	0,8		
25	3 000	0,98		
12,5	1 500	0,89		
3,1	372	0,88		

Ein Blick auf die fast gleiche Zahl von Keimprozenten unterhalb 80 Kerzen zeigt, daß hier offenbar abnorme Verhältnisse vorliegen. Die dort beobachteten Keimlinge sind offenbar solche, die ziemlich unabhängig vom Licht sich entwickelt haben, und die auch im Dunkeln gekeimt wären. Bei den höheren Lichtmengen finden wir aber recht gute Übereinstimmung der experimentell gefundenen Zahlen mit den theoretisch zu erwartenden, woraus sich ergibt, daß die Keimung proportional zur zugeführten Lichtmenge erfolgt.

Daß diese Übereinstimmung auch für die niedrigen Lichtwerte gilt, zeigte die längere Ausdehnung des Versuches, bei der eine größere Zahl von Keimlingen bei den schwachen Lichtintensitäten zur Entwicklung kam.

Am 16. Versuchstag war die Keimung bei 300 Kerzen beendet, im übrigen finden wir dort die in Tabelle 5 wiedergegebenen Verhältnisse.

Tabelle 5.

Beziehung zwischen Lichtintensität und Keimprozenten nach 384 Stunden Belichtung.

Lichtintensität	Keimprocente		Abweichung
	gefunden	berechnet	
300	100	—	
200	86	87,2	— 1,2
160	69,5	69,5	+ 0,0
120	54	52,3	+ 1,7
80	36	35,8	+ 0,1
50	20	21,4	— 1,8
25	1	13,4	— 12,4

Also recht gute Werte. Nur bei 25 Kerzen ist die Keimung noch im Rückstand, bis zum 41. Versuchstag hat sie hier aber auch so weit aufgeholt, daß 36 pCt. Keimlinge vorhanden sind gegenüber 37,25 pCt. theoretisch berechneten; also ebenfalls gute Übereinstimmung.

Aus den sämtlichen Zählungen des 41 Tage währenden Versuches, von denen hier nur 2 angeführt sind, ergibt sich, daß durch um je 10 000 MKSt steigende Lichtmengen durchschnittlich die folgenden Keimungsprozente ausgelöst werden:

MKSt:	0—10 000	11—20 000	21—30 000	31—40 000
„:	1	12,2	20,6	37,1
41—50 000	51—60 000	61—70 000	71—80 000	81—90 000
57,6	54,4	68,3	81	90

Wenn auch im Einzelnen Abweichungen vorhanden sind, so ist doch unverkennbar, daß die Keimung der Sporen von *Nostoc punctiforme* bei Belichtung mit Intensitäten zwischen 300 und 12,5 MK proportional der zugeführten Lichtmenge erfolgt.

Weitere Einzelheiten und eine Diskussion der erhaltenen Ergebnisse sollen in der demnächst in den Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik (Bd. 58, S. 237—294 erscheinenden ausführlichen Arbeit gebracht werden.

Würzburg, Botanisches Institut, den 5. August 1917.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: [35](#)

Autor(en)/Author(s): Harder Richard

Artikel/Article: [Ueber die Beziehung der Keimung von Cyanophyceensporen zum Licht 1058-1064](#)