

WACHSTUMSREAKTIONEN VON KEIMLINGEN, HERVORGERUFEN DURCH MONOCHROMATISCHES LICHT

II. BLAU UND GRÜN

MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN VERSUCHSANSTALT DER KAISERLICHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

BOTANISCHE ABTEILUNG, VORSTAND L. v. PORTHEIM

VON

HELENE JACOBI

MIT 5 TAFELN UND 5 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 6. JULI 1916

In Fortsetzung der Arbeit: Wachstumsreaktionen von Keimlingen, hervorgerufen durch monochromatisches Licht, I. Rot,¹ folgen nun weitere Beobachtungen über die Einwirkung von blauem und grünem Licht auf die gleiche Pflanzenart, das ist Keimlingen von *Triticum vulgare*.

Lichtfilter.

Zur Herstellung des monochromatischen Blau wurde eine U-Violglasplatte verwendet. Da sie jedoch noch das äußerste Rot durchließ, so mußte dieses durch Vorschaltung einer mit Kupfersulfatlösung gefüllten, 1 cm dicken Küvette weggenommen werden. Jetzt giengen bloß die Strahlen von 480 $\mu\mu$ an durch.

Grünfilter war eine grüne Glasplatte, welche den Strahlenbezirk 600 $\mu\mu$ –480 $\mu\mu$ durchläßt. Eine vorgeschaltete, 1 cm dicke Kuvette mit Anilinblaulösung reduziert ihn auf 500 $\mu\mu$ –480 $\mu\mu$, so daß kein Blau sichtbar war.

Die vorgeschalteten Flüssigkeiten besorgten gleichzeitig die Absorption der von der Lichtquelle ausgesandten Wärmestrahlen.

Es sei noch eines Rotfilters Erwähnung getan, daß schon bei der eingangs genannten Arbeit benützt wurde und auch jetzt zwecks Vergleichs zur Anwendung kam. Es ist dies eine Glasplattenkombination, welche das Strahlengebiet 709 $\mu\mu$ –608 $\mu\mu$ durchläßt.

¹ H. Jacobi, Wachstumsreaktionen von Keimlingen, hervorgerufen durch monochromatisches Licht, I. Rot. Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, Bd. CXXIII. Abt. I, 1914. p. 617.

Lichtquelle war in den meisten Fällen eine Bogenlampe, bei einzelnen Versuchen waren es elektrische Glühlampen.

Es wurde versucht die von der Bogenlampe für sich allein und die von ihr durch die Lichtfilter hindurch entwickelten Energiemengen in einigen Beziehungen zu bestimmen. Die Intensität der Bogenlampe wurde auf verschiedene Weise gemessen:

1. die direkte Messung der Lichtstärke ergab mittels Fettfleck-Photometers 976 NK, mittels Photometers (nach Ritchie) 961 NK.

2. Die chemische Untersuchung mittels photographischem Papier zeigte ungefähr 1000 NK.

Die Differenz dieser Resultate ist vielleicht darauf zurückzuführen, daß die Lampe sehr viele blaue Strahlen aussandte. Bei den Lichtfiltern wurde Zwecks Kontrolle folgende relative Bestimmung ausgeführt:

Die Bogenlampe sendet durch das Rotfilter Licht von einer Stärke aus, das 11·25mal so stark ist, wie das mittels einer 25kerzigen Osramglühlampe durch dasselbe Filter ausgesandte.

Durch das Grünfilter gieng 64mal, endlich durch das Blaufilter 100mal so starkes Licht hindurch, als mittels der genannten Glühlampe.

Versuchsordnung.

Um den Zuwachs des Längenwachstums zu bestimmen, kamen zwei Methoden zur Anwendung. Die erste war eine Meßmethode, die zweite eine Auxanometermethode. Vorerst sei erstere kurz angegeben: Keimlinge von *Triticum vulgare* wurden in Töpfen unter dem Dunkelsturz gezogen, bis sie 1 bis 2 *cm* Länge erreicht hatten. Je 5 in einem Topfe belassene Keimlinge sind dann in einem Kasten dem Licht ausgesetzt worden. Der Kasten besaß einen entsprechenden Ausschnitt für die Lichtfilter. Nach der Belichtung kamen sie in einen Dunkelkasten, in welchem sie mit den konstant verdunkelten Dunkelpflanzen verblieben. Licht- und Dunkelkasten waren gleich groß.

Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse sind in der als Arbeitsraum verwendeten Dunkelkammer ziemlich konstante. Ein, in diesem Raume aufgestellter Thermograph, zeigte durchwegs konstante Temperatur. Nur einige Meßversuche wurden bei etwas schwankender Temperatur ausgeführt.

I. Meßversuche.

Es wurden drei Reihen von Meßversuchen hergestellt, die sich durch die Belichtungszeit von einander unterschieden. Die Belichtungszeiten waren: 1 Minute, 15 Minuten und 1 Stunde. Jede dieser Versuchsreihen umfaßte Versuche mit Dunkelpflanzen, Versuche mit blau belichteten und mit grün belichteten Pflanzen.

Die Keimlinge wurden bei schwachem Licht (10 NK in 3 *m* Distanz) mit Millimeterpapier gemessen und zwar von der Ansatzstelle der Koleoptile bis zur Spitze und dann dem monochromatischen Licht ausgesetzt. Nach der Belichtung verblieben sie 1×24^h, 2×24^h usw. im Dunkeln, wurden hierauf zum zweiten Male gemessen und der Versuch dann abgestellt.

Die nachfolgenden 3 Tabellen enthalten die aus den 2 Messungen resultierenden Wachstumsintensitäten, das heißt, den Exponenten aus dem Verhältnisse der zweiten Messung zur ersten. Die dieser Rechnung zu Grunde liegenden Längen, sind die Durchschnittslängen von je 5 Keimlingen. Jede Kolonne enthält 5 Versuche; die sechste, unter dem Striche stehende Zahl, ist der Durchschnitt der Durchschnittslängen.

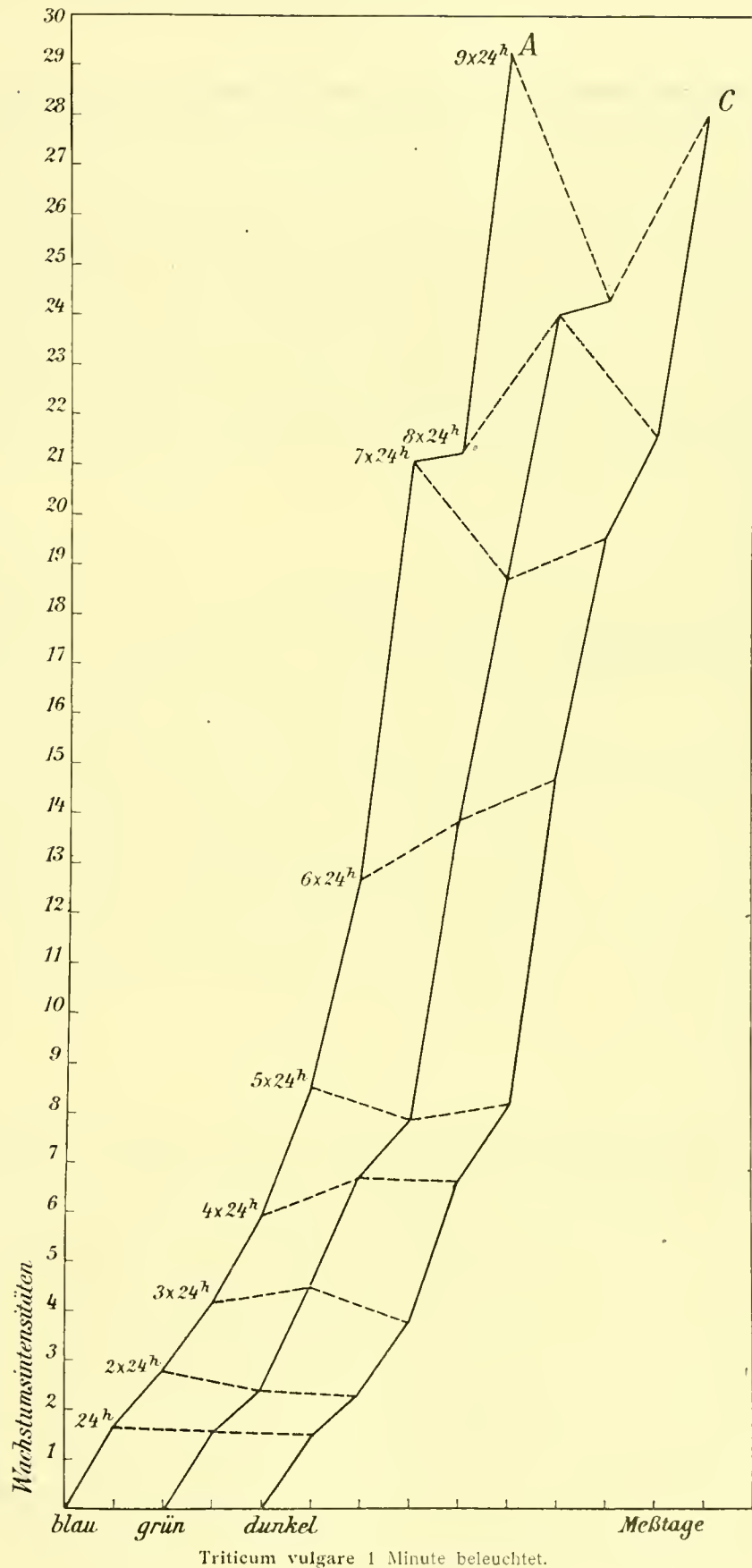
Erste Versuchsreihe.

Triticum vulgare mit einfachem blauen und einfachem grünen Licht beleuchtet. Belichtungsdauer: 1 Minute, Lichtquelle: Bogenlampe. 45 Versuche mit 675 Keimlingen (siehe Tabelle I, p. 4 und 5 [116 und 117]).

Die Tabelle zeigt, daß sowohl die blau, als auch die grün belichteten Pflanzen nach 1×24 und 2×24 Stunden eine Beschleunigung des Längenwachstums gegenüber den Dunkelpflanzen aufweisen und zwar erstere stärker als letztere. Am dritten Tage hat die grün belichtete Pflanze die stärkste Beschleunigung, die blau belichtete zeigt sie schwächer, am vierten Tage ist letztere im Wachstum verzögert, am fünften wieder am stärksten beschleunigt, am sechsten verzögert, am siebenten beschleunigt, am achten verliert sie die Beschleunigung, um sie am neunten Tage wieder zu zeigen. Ein ganz ähnlicher Wechsel ist bei der grün belichteten Pflanze zu beobachten, nur etwas verschoben. Am neunten Tage, wo wohl alle Reservestoffe verbraucht sind, die Pflanze daher das Wachstum einstellt, ist die blau belichtete Pflanze die längste, die grün belichtete, die kürzeste.

Zwecks größerer Übersichtlichkeit sind die Durchschnittsergebnisse dieser 3 Parallelversuche auf einem gemeinsamen Koordinatensystem eingetragen (Textfig. 1). Abszissen sind die einzelnen Tage, das heißt 1×24^h , 2×24^h usw., Ordinaten die Wachstumsintensitäten. Außerdem sind die Wachstumsintensitäten der gleichen Zeiten bei allen 3 Kurven durch punktierte Linien verbunden und machen dadurch Beschleunigung oder Verzögerung gegeneinander deutlich erkennbar. Aus dem Verlauf der Kurven ist der Wechsel des Wachstumstempos innerhalb einer Versuchsreihe gleichfalls zu sehen.

Fig. 1.



Triticum vulgare 1 Minute beleuchtet.

Wachstumsintensitäten (Verhältnis der 1. Messung : 2. Messung)

Tabelle I. *Triticum vulgare*

45 Versuche mit

Die zweite Messung erfolgt nach:	1 × 24 Stunden			2 × 24 Stunden			3 × 24 Stunden			4 × 24 Stunden		
	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel
	1·61	1·60	1·44	2·84	2·78	2·26	4·32	4·01	3·80	6·91	8·39	8·80
	1·58	1·48	1·44	2·22	2·12	2·26	4·31	4·15	3·89	7·70	7·70	8·80
	1·72	1·45	1·39	2·74	2·58	2·58	4·19	4·59	4·11	5·07	5·74	5·64
	1·69	1·68	1·50	2·79	2·45	2·21	4·32	5·18	4·11	5·41	6·01	5·85
	1·71	1·50	1·50	2·21	1·98	2·16	3·57	4·40	3·89	4·30	5·70	4·00
Durchschnitt	1·66	1·54	1·45	2·79	2·38	2·29	4·14	4·46	3·80	5·87	6·70	6·61

Tabelle II. *Triticum vulgare*

35 Versuche mit

Die zweite Messung erfolgt nach:	1 × 24 Stunden			2 × 24 Stunden			3 × 24 Stunden			4 × 24 Stunden		
	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel
	3·18	3·05	3·40	5·29	4·65	4·94	8·71	11·40	11·40	8·50	8·30	7·48
	3·22	3·05	3·31	3·86	4·00	2·95	11·82	11·31	11·20	9·70	9·10	8·40
	2·67	2·88	3·06	3·77	3·07	3·31	11·46	10·21	12·20	10·20	9·55	9·20
	2·46	2·69	2·88	3·56	3·80	3·20	4·40	5·00	4·66	10·22	11·99	11·20
	1·96	1·95	2·06	6·01	6·40	6·95	4·72	5·25	4·30	12·12	10·38	12·86
Durchschnitt	2·69	2·73	2·94	4·69	4·38	4·27	8·24	8·63	8·75	10·15	9·96	9·83

Tabelle III. *Triticum vulgare*

40 Versuche mit

Die zweite Messung erfolgt nach:	1 × 24 Stunden			2 × 24 Stunden			3 × 24 Stunden			4 × 24 Stunden		
	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel
	1·67	2·06	1·99	3·61	3·36	3·77	6·00	6·10	5·00	3·52	3·00	4·30
	1·84	1·74	1·77	3·61	4·07	3·85	5·80	6·70	6·58	5·70	6·49	7·80
	2·23	1·81	2·52	3·25	2·86	2·73	4·42	5·65	6·50	10·70	13·90	13·80
	1·82	1·96	1·94	2·72	2·67	2·66	6·25	7·70	6·80	11·20	8·10	10·75
	2·21	2·35	2·11	3·11	5·90	3·60	4·60	3·87	4·11	6·23	6·55	4·94
Durchschnitt	1·95	1·97	2·06	3·26	3·77	3·32	5·43	6·00	5·80	7·47	7·59	8·31

Die stark fett gedruckten Ziffern zeigen die größte Wachstumsintensität an, die normal gedruckten, die geringste

Wachstumsreaktionen von Keimlingen.

117

von *Triticum vulgare* mit blauem und grünem Licht beleuchtet.

1 Minute beleuchtet.

675 Keimlingen.

5 × 24 Stunden			6 × 24 Stunden			7 × 24 Stunden			8 × 24 Stunden			9 × 24 Stunden		
blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel
10·09	9·35	9·70	9·46	10·15	11·30	27·10	27·50	24·00	25·60	24·00	21·50	31·30	25·65	27·40
9·59	9·75	9·70	13·08	13·24	14·23	25·01	20·90	24·00	23·50	22·30	23·49	31·30	26·20	34·20
8·19	6·90	7·80	14·52	13·78	15·14	20·10	15·45	17·39	22·50	25·00	23·49	29·00	21·70	34·20
7·75	7·45	7·80	16·14	16·35	16·80	17·10	16·10	17·39	18·40	29·20	21·50	22·90	22·00	17·00
6·70	5·63	5·74	15·21	16·42	16·53	16·00	13·80	15·00	16·20	19·90	17·60	31·30	25·70	27·40
8·46	7·81	8·14	12·68	13·98	14·80	21·06	18·75	19·55	21·24	24·08	21·51	29·16	24·25	28·04

15 Minuten beleuchtet.

525 Keimlingen.

5 × 24 Stunden			6 × 24 Stunden			7 × 24 Stunden		
blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel
13·40	11·60	11·80	13·30	12·30	12·35	16·10	18·80	17·45
10·35	10·80	10·95	9·55	10·35	10·60	18·20	17·60	19·23
14·23	15·08	15·79	16·30	14·40	15·00	19·10	19·70	19·10
14·40	11·80	14·60	18·60	20·80	13·80	18·50	17·50	19·90
12·20	12·85	16·13	13·60	11·81	27·20	10·60	8·70	11·80
12·91	12·42	13·85	14·27	13·93	15·79	16·50	16·46	17·49

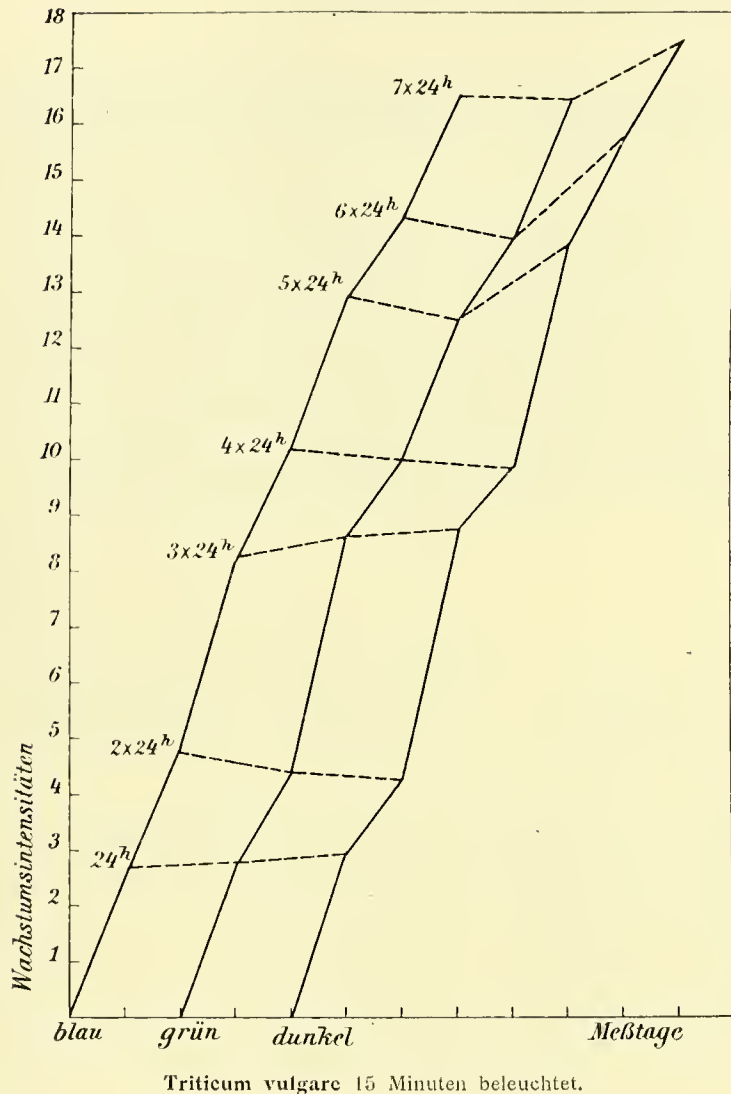
1 Stunde beleuchtet.

600 Keimlingen.

5 × 24 Stunden			6 × 24 Stunden			7 × 24 Stunden			8 × 24 Stunden		
blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel	blau	grün	dunkel
9·40	8·55	9·50	10·35	10·81	9·27	11·70	11·81	19·80	27·00	20·20	25·86
9·61	8·61	9·95	17·60	12·45	15·20	14·49	14·80	13·70	19·10	15·40	18·10
13·75	12·50	13·65	8·70	8·90	11·70	21·20	22·50	17·90	12·25	12·11	17·65
8·45	9·00	7·65	9·92	9·42	8·00	9·80	9·40	10·01	11·00	8·54	11·20
10·32	10·30	11·50	11·75	10·80	11·21	11·90	8·40	5·60	14·00	14·25	13·50
10·30	9·79	10·45	11·65	10·47	11·07	13·81	13·38	13·40	16·67	14·10	17·26

Wachstumsintensität.

Fig. 2.



Bei diesen Versuchen hält die Verzögerung der blau belichteten Keimlinge durch 5 Tage an. Nach 6×24 Stunden zeigt sich jedoch auch hier eine Beschleunigung, die nach 2 Tagen wieder abklingt. Bei den grün belichteten Pflanzen tritt die Beschleunigung schon viel früher, und zwar am zweiten Tage auf und verschwindet am vierten Tage. Diese Keimlinge sind nach 8 Tagen wesentlich kürzer als die blau belichteten und die Dunkelpflanzen die dieser Tabelle zugehörigen Kurven (Textfig. 3, p. 7 [119]), zeigen ein ähnliches Bild wie die Kurven in Textfig. 2.

Aus den in Tabelle I und II zusammengestellten Versuchen geht hervor, daß sowohl im blauen als auch im grünen Licht, bei einer Expositionsdauer von einer Minute oder 15 Minuten, kurze Zeit nachher im Dunkeln eine Beschleunigung des Längenwachstums gegenüber der Dunkelpflanze auftritt. Diese Erscheinung wurde schon für weißes¹ und rotes Licht² an anderer Stelle festgestellt. Dauert die Beschleunigung länger, zum Beispiel 1 Stunde (Tabelle III, p. 4 u. 5 [116 u. 117]), so zeigt sich die Beschleunigung bei den grün belichteten Pflanzen schon am zweiten Tage, bei den blau belichteten erst am sechsten Tage.

Zweite Versuchsreihe.

Triticum vulgare mit monochromatischem blauen und grünem Licht beleuchtet. Lichtquelle: Bogenlampe. Belichtungsdauer 15 Minuten (Tabelle II, p. 4 u. 5 [116 u. 117]).

Sowohl die blau als auch die grün belichteten Keimlinge zeigen nach 24 Stunden eine Verzögerung des Längenwachstums gegenüber der Dunkelpflanze. Nach 2×24 Stunden schlägt die Verzögerung bei der blau belichteten Pflanze in eine Beschleunigung um, nach 3×24 Stunden ist sie wieder verzögert, nach 4×24 Stunden beschleunigt. Von da ab bis zum Ende der Beobachtung, das ist 7×24 Stunden bleibt sie verzögert. Die Kurve der grünen Pflanze verläuft ganz ähnlich (Textfig. 2), doch erscheint sie wie bei der ersten Versuchsreihe gegen die der blau belichteten Pflanze verschoben. Ebenso ist auch hier die beschleunigende Kraft des blauen Lichtes eine stärkere, als die des grünen.

Dritte Versuchsreihe.

Triticum vulgare mit einfachem blauen und grünem Licht beleuchtet. Lichtquelle: Bogenlampe. Belichtungsdauer 1 Stunde.

¹ H. Jacobi, Wirkung verschiedener Lichtintensität und Belichtungsdauer. Ber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien, Bd. CXX, Abt. 1, 1911, p. 1001.

² Jacobi, a. g. O.

Diese Beschleunigung ist jedoch in allen Fällen keine konstant andauernde. Nach einiger Zeit tritt allemal ein Rückschlag ein, eine Verzögerung, der wieder eine Beschleunigung folgen kann und so fort ein Wechsel von beiden, der so lange anhält, bis die Pflanze ihr Wachstum einstellt.

Es läßt sich infolge dieses Wechsels aus einer einmal beobachteten Beschleunigung oder Verzögerung kein Schluß auf das Endresultat des Längenwachstums der Pflanze machen, sondern es sind länger andauernde Beobachtungen innerhalb gleicher Zeitintervalle notwendig. Da auch die Intervalle von 24 Stunden sich insbesondere für die Beobachtung des Ablaufs eines Reizes in diesem Falle als zu lang erwiesen, wurde eine zweite Methode angewandt, die es ermöglichte, in kurzen Zeitintervallen genaue Messungen zu erhalten.

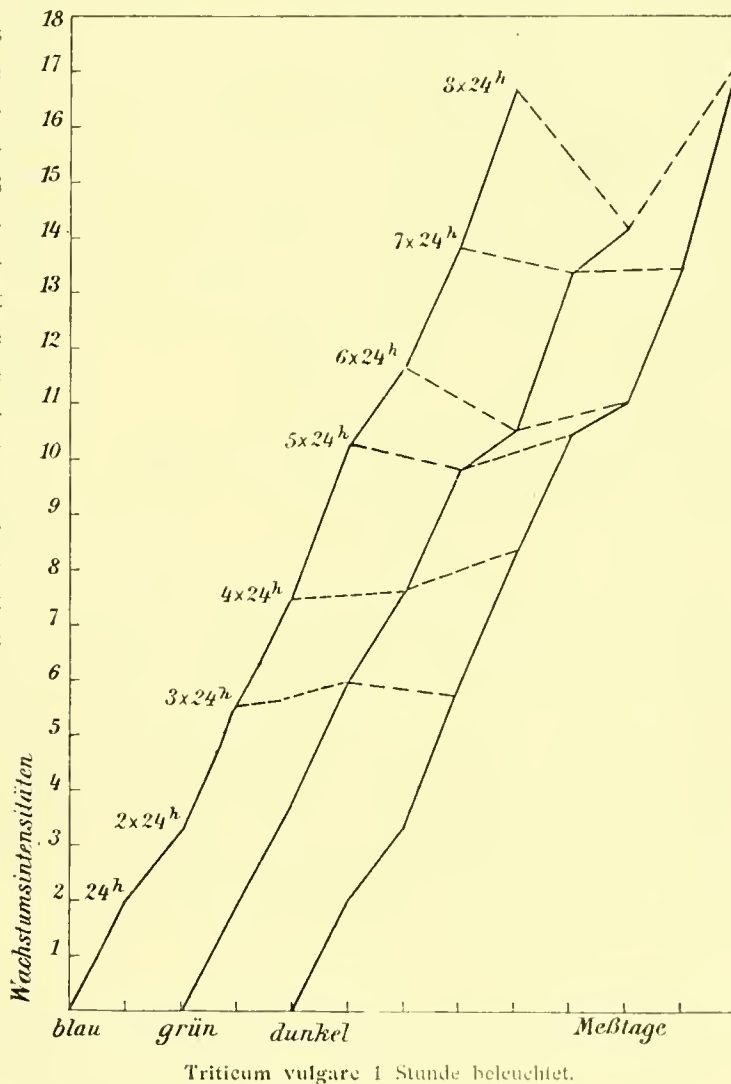
II. Auxanometerversuche.

Bei diesen Versuchen wurde ein Auxanometer verwendet, und zwar zwecks selbsttätiger Registrierung des Längenzuwachses innerhalb gleicher kürzerer Intervalle.

Der Apparat (Textfig. 4, p. 8 [120] besteht aus einem lotrecht aufgestellten Klinostat, dessen Glaszylinder sich mittels eines Uhrwerkes, stündlich einmal um seine Achse dreht. Der Glaszylinder ist mit Pergaminpapier überzogen. Eine Registrier-Barometerfeder ist an den Apparat so angebracht, daß sie sich ähnlich wie die Feder des Wiesnerschen Auxanometers¹ leicht mittels Rollen bewegt. Ein Faden, der über die Rollen läuft, trägt an einem Ende die Feder, das andere Ende ist an die Spitze des Keimlings gebunden. Die Feder senkt sich bei zunehmendem Wachstum der Pflanze und schreibt Spiralen auf den sich drehenden Zylinder. Diese Spiralen sind je nach langsamem oder raschem Längenwachstum mehr oder weniger weit von einander entfernt. Jeder Abstand entspricht dem einstündigen Wachstumszuwachs des Keimlings.

Die meisten Auxanometerversuche wurden in der Dunkelkammer aufgestellt, deren nahezu konstante Temperatur eingangs erwähnt wurde. Die Feuchtigkeit war dadurch eine gleichmäßige, daß die Keimlinge unter einer Glasglocke standen, in welcher sich ein Gefäß mit Wasser befand. Auf einen vollständigen Abschluß der Glocke mit Wasser wurde verzichtet, da auch so bei konstanter Temperatur sich ein konstanter Feuchtigkeitsgrad einstellen mußte.

Fig. 3.



¹ J. Wiesner, Anat. u. Phys. der Pflanzen, p. 303, 1906.

Versuche mit Dunkelpflanzen.

Die Glasglocke, unter der sich die Keimlinge befanden, wurde noch mit einem schwarzen Pappkasten überdeckt. Der Faden lief durch eine kleine Öffnung des abschließenden Raumes. Diese Öffnung war gegen das Eindringen von Licht gesichert.

Aus den Aufschreibungen der Dunkelpflanzen (Tafel I, II) ersieht man eine anfängliche Annäherung der Spiralen hierauf — abgesehen von einigen Schwankungen — eine Zunahme der Distanzen und dann wieder eine Abnahme derselben, bis zum gänzlichen Einstellen des Wachstums.

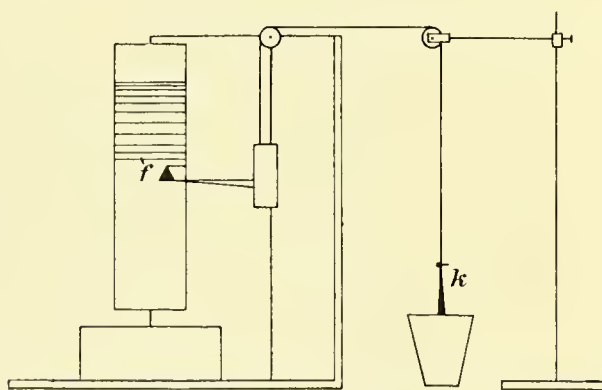
Wird ein Streifen, welcher der Aufschreibung des Wachstums einer Dunkelpflanze entstammt, als Ordinate eines Koordinatensystems benützt, als Abszisse die einzelnen Stunden, so bildet sich eine nahezu ununterbrochen ansteigende Kurve ab. Es ist die große Wachstumskurve. Tafel I.

Versuche mit Lichtpflanzen.

1. Mit weißem Licht:

Tafel 2 zeigt die Kurve einer durch 1 Stunde mit Bogenlicht belichteten Pflanze. Die Belichtung erfolgte in derselben Weise wie bei den Messversuchen. Da die Pflanze nach der Belichtung dauernd verdunkelt wurde (in derselben Weise wie bei den vorhergehenden Versuchen), so zeigt der Spiralenverlauf die Nachwirkung des Lichtes. Es treten zuerst Verdichtungen der Spiralen auf, denen wieder eine Auflockerung derselben folgt. Dies wiederholt sich einigemale, bis die Pflanze das Wachstum einstellt.

Fig. 4.



Selbstregistrierendes Auxanometer.

f = Feder.

k = Keimling.

sind also die Längenzunahmen pro Stunde als Abstände auf der Ordinate aufgetragen, auf der Abszisse die Stunden in gleichen Abständen, so zeigt die resultierende Kurve wohl ein Ansteigen, jedoch kein konstantes. Ihr Verlauf ist ein wellenförmiger. Gegen das Ende verflachen die Wellen (Tafel 2),

Es folgen nun Zusammenstellungen der Wachstumsaufzeichnungen von Keimlingen, erstens von solchen, die mit weißem Licht von verschiedener Stärke und Dauer beleuchtet wurden (Taf. I), zweitens von Keimlingen, die einfachem roten und einfachem grünen Licht ausgesetzt waren (Taf. III).

Pflanzen, die mit schwachem weißem oder farbigem Licht oder mit ebensolchem Licht von geringer Dauer beleuchtet waren, zeigen ähnlichen Spiralenverlauf. Es sind wenige Verdichtungszone vorhanden, die Auflockerungen sind stark und anhaltend.

Vergleicht man hiemit die stark oder lange belichteten Keimlinge, so sieht man eine Vermehrung der Verdichtungen, die sich zwischen die Auflockerungen einschalten.

Vermehrte oder verminderte Feuchtigkeit hat sowohl bei Dunkel- als auch bei Lichtpflanzen nur die Wirkung das Wachstum in seiner Gänze zu beschleunigen oder zu verzögern. Tafel II zeigt den Parallelversuch einer trocken und einer feuchtgehaltenen Lichtpflanze einerseits und den einer trocken und einer feucht gehaltenen Dunkelpflanze andererseits.

Die in feuchter Luft kultivierten Keimlinge wurden unter Stürzen gezogen, welche mit Wasser abgeschlossen waren; die in trockener Luft gehaltenen im selben Raume (einer kleinen Dunkelkammer) frei aufgestellt. Aus den Abbildungen ist zu ersehen, daß die Aufschreibungen der in feuchter Luft gezogenen Pflanze viel weiter von einander abstehende Spiralen zeigen, als die trocken gehaltenen. Auf diese, das gesamte Längenwachstum eines Keimlings beschleunigende Wirkung der erhöhten Feuchtigkeit, wurde schon in einer selbstständigen Arbeit¹ hingewiesen. Dieselben Untersuchungen zeigten auch, daß erhöhte Feuchtigkeit die Wirkung eines Lichtreizes verschieben, jedoch nicht aufheben könne.

Ganz anders verhalten sich Temperatureinflüsse. Ist die Pflanze stark wechselnden Temperaturen ausgesetzt, so treten auch bei der Dunkelpflanze Verdichtungszone auf. Die Verdichtungszone der Lichtpflanze zeigen wieder eine andere Verteilung als bei konstanter Temperatur. In Tafel II befinden sich zwei Streifen, die den Aufschreibungen einer Licht- und einer Dunkelpflanze, welche bei sehr schwankender Temperatur gehalten wurden, entnommen sind. Beide Pflanzen waren in demselben Raume aufgestellt und nur der Erwärmung durch die Sonne ausgesetzt. Demzufolge zeigt sowohl Licht- als auch Dunkelpflanze zur Mittagszeit stets die größte Beschleunigung des Längenwachstums. Diese tritt fast gleichzeitig mit der stärksten Erwärmung auf, um bei Abkühlung allmählich abzuklingen.

Aus den in Tafel III zusammengestellten Streifen aus den Aufschreibungen von Keimlingen, welche mit farbigem Licht beleuchtet wurden, ist zu ersehen, daß die Wirkung dieser Lichtarten eine ähnliche ist, wie die des weißen Lichtes. So ist bei 1 Minute blauer Belichtung nur eine einmalige Verzögerung zu konstatieren; bei 5 Minuten dauernder Belichtung zeigt die wiederholte Verzögerung des Wachstums die stärkere Einwirkung des Lichtreizes an. Eine 5 Minuten dauernde grüne Belichtung hat ebenso wie eine gleichlange währende weiße, blaue oder rote Belichtung den Wechsel von Verzögerungen und Beschleunigungen zur Folge. Keinesfalls läßt sich die Kurve der rot belichteten Pflanze mit der einer Dunkelpflanze vergleichen. Eine länger rot belichtete Pflanze zeigt auch mehr Verdichtungszone; also erweisen sich hier wieder Intensitäts- oder Dauerwirkungen des Lichtes wirksam.

Ein Vergleich der Meßversuche mit den Auxanometeraufschreibungen läßt folgendes konstatieren:

Ob im Beobachtungsmomente sich eine Wachstumsbeschleunigung oder Verzögerung ergibt, ist von der Phase abhängig, in welcher sich die Pflanze vermöge des Reizablaufes befindet. Das Endresultat nach einer bestimmten längeren Versuchszeit hängt von der Zahl und Dauer der Verzögerungen und Beschleunigungen ab.

Ob gleich nach Einwirkung des Lichtreizes Beschleunigung oder Verzögerung auftritt, ist von der Dosierung des Reizes abhängig, das heißt, von dem Produkt aus Intensität \times Dauer.

Es kann also beides, sowohl Beschleunigung als auch Verzögerung ebenso durch Intensität als auch durch entsprechende Dauer der Einwirkung erzielt werden.

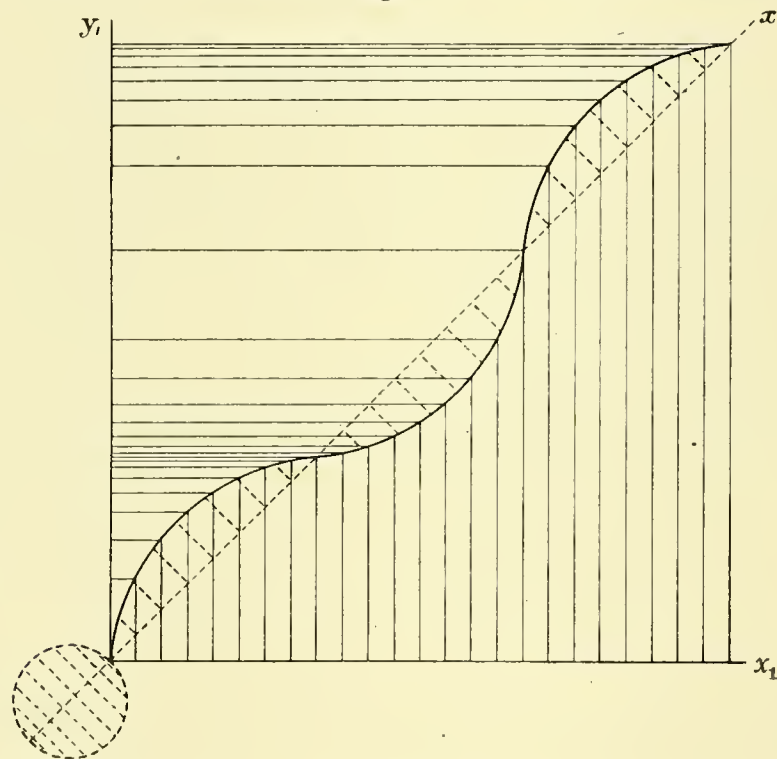
Die einerseits aus den Verdichtungen und Auflockerungen der Wachstumsspiralen, andererseits aus den gleichen Zeitintervallen entstandene Wachstumskurve eines belichteten Keimlings gleicht beiläufig einer Sinuskurve (Textfig. 5 p. 10 [122]). Eine vollständig genaue Kurve dieser Art würde entstehen, wenn die Zu- und Abnahme der Distanzen auf der Ordinate eine gleichmäßige wäre.

Ist die Beeinflussung der Pflanze eine wachstumshemmende, so müssen die einzelnen Bogenabschnitte der Sinuskurve kürzer werden. Läßt die Hemmung nach, wird somit die Wachstumsintensität

¹ H. Jacobi, Einwirkung von Feuchtigkeit und Licht auf das Längenwachstum von Keimlingen. Österr. bot. Zeitschr., Jg. 1914, Nr. 3/4, p. 94.

stärker, so werden auch die Bogen länger. Diese müssen also im allgemeinen umso kürzer sein je länger die Exponierung im Lichte dauert. Dann aber muß die gleiche Ursache, welche die Hemmung hervorruft, auch die Beschleunigung zur Folge haben, das heißt, der Wechsel von Hemmung und Beschleunigung entsprechen einander wie Reaktion und Gegenreaktion. Sind diese beiden gleich stark, so müßte, wie vorhin schon erwähnt, die reine Sinuskurve auftreten. Das wäre möglich, wenn dem Lichtreiz kein anderer entgegenwirken würde. Dies ist jedoch bei der Pflanze niemals der Fall. Bei der im Dunkeln weiter kultivierten Lichtpflanze muß die etiolierende Wirkung der Dunkelheit, eventuell noch andere Faktoren und schließlich der Verbrauch der Reservestoffe die Wirkung des Lichtreizes zum Abklingen bringen, ob sie nun eine hemmende oder fördernde war.

Fig. 5.



Sinuskurve.

Konstruktion auf der Achse x und Transformation auf das Koordinatensystem x, y .

Auf den Vergleich der Wachstumskurve mit der Sinuskurve wird nicht der »mathematischen Fundierung« wegen Wert gelegt; diese wäre schwer genug herzustellen. Das Aufklärende an dem Vergleiche ist die Darstellungsmöglichkeit der Wirkungsweise eines Lichtreizes, so daß zu erkennen ist, daß er nicht ein konstantes Ansteigen der Wachstumskurve zur Folge hat, sondern daß er ihr einen wellenförmigen Verlauf gibt, den erst eine Gegenwirkung zum allmählichen Schwinden bringt.

Das Auftreten von Wachstumsschwankungen, »das Auf- und Abwachen der Zuwachsbewegung« nach Hofmeister,¹ wird in der Literatur verschiedentlich erwähnt. Pfeffer² spricht von Wachstumsoscillationen, die auch bei völliger Konstanz der äußeren Bedingungen auftreten und die er deshalb zu den autonomen Bewegungen zählt. Ihre Ursache findet er im Antagonismus der Gewebe und in

¹ Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Bd., p. 20.

² Hofmeister, nach Pfeffer, a. g. O., p. 21.

der Hemmung durch Blattscheiden gelegen. Er druckt auch eine Tabelle aus der unten genannten Arbeit von Hofmeister über das Wachstum von *Spirogyra princeps* ab. Die Tabelle enthält die Größenzunahmen für die Zeitintervalle von je 1 Minute und gibt die Grundlage für das obige Zitat nach Hofmeister.

Sachs¹ nennt diese Zuwachsbewegungen »stoßweise Änderungen des Wachstums«. Die Arbeit, welcher diese Äußerung entnommen ist, enthält eine größere Zahl von »großen Wachstumskurven« verschiedener Pflanzen. Einzelne dieser Kurven lassen sehr deutlich die schwankende Wachstumsgeschwindigkeit innerhalb der großen Periode erkennen. An einigen Kurven zeigt Sachs auch die geringe Wirkung kleiner und die starke Wirkung großer Temperaturschwankungen.

Neuere Arbeiten, die sich mit der Zuwachsbewegung belichteter Pflanzen beschäftigen, sind die von Blaauw² und Vogt³. Ersterer belichtet *Phycomyces nitens* mit schwachem Licht von mehreren Seiten durch kurze Zeit und erhält als primäre Reaktion eine Wachstumsbeschleunigung. In einer späteren Arbeit⁴ macht er ähnliche Versuche mit *Helianthus*, erhält aber bei dieser Pflanze als primäre Wirkung eine Wachstumsverzögerung. Beide Reaktionen verfolgt er so lange, bis nach einigen Stunden die normale Wachstumsgeschwindigkeit eintritt. Beigegebene Kurven des Wachstumsverlaufes sind wellenförmig. Außerordentlich interessant ist seine Bemerkung, p. 527, daß »beide Pflanzen in ihrem Reaktionsbild aufs deutlichste die Doppelwirkung zweier antagonistischer Reaktionen zeigen, indem eine Antireaktion den Effekt der primären Reaktion beeinflusst und entgegenarbeitet«. Als Ursache führt er an, daß »der ganze Verlauf ein wellenartiger ist, indem eine Antireaktion bald ihren Einfluß auf die primäre Reaktion ausübt«.

Der wellenartige Verlauf des Wachstums muß jedoch nicht auf eine Antireaktion zurückgeführt werden. Ebenso wie bei einer physikalischen Schwingungserscheinung nur ein Impuls zu ihrer Hervorrufung notwendig ist, genügt auch hier die Wirkung des Lichtes, um eine Verzögerung und nachfolgend eine Beschleunigung hervorzurufen. Wohl zeigt sich auch die Wirkung einer Gegenreaktion, jedoch erst im Abklingen der Reizerscheinung.

Den Vorwurf Blaauw's⁵ daß ich bei den Versuchen mit weißem Licht,⁶ erst 24 Stunden nach der Belichtung messe, kann ich nur dahin widerlegen, daß es sich nur eben um ein Intervall handelte, und zwar wählte ich das von 24 Stunden. Nur für dieses Intervall verlangen die Resultate Geltung. Den Vorwurf der Inkonstanz der Temperatur glaube ich durch das in dieser Arbeit auf p. 2 [114] Angeführte widerlegen zu können. Von schwankender Feuchtigkeit kann keine Rede sein, da stets gleich große und fast völlig geschlossene Behälter benützt wurden.

Die Einwirkung der Feuchtigkeit bei dieser Art Versuche habe ich erstens in einer eigenen Arbeit untersucht⁷ und ihre Rolle auch in der jetzigen Arbeit (p. 2, 7 u. 9 [114, 119 u. 121]) berücksichtigt.

Des weiteren sind die schon zitierten zwei Arbeiten von Ernst Vogt über den Einfluß des Lichtes auf die Koleoptile von *Avena sativa* zu erwähnen. Er beobachtet u. a. die *Koleoptile* nach einer Belichtung von 1, 2, 3, 9 und 15 Minuten Dauer mit dem Horizontalmikroskop und stellt die Zuwachsgrößen nach Intervallen von je 3 Minuten fest. Auch er erhält mit diesen Größen eine Wellenkurve. Seine Beobachtungen erstrecken sich ebenso wie die Blaauw's nur über kurze Zeit,

¹ Sachs, Ab. d. Würzb. bot. Inst., p. 103.

² A. H. Blaauw, The primary photo-growth reaction usw. Kon. Akad. v. Wet. te Amst., 1914, Vol. XVI, p. 774, Licht u. Wachstum, I, Zeitschr. f. Bot., 6. Jg., H. 8. 1914, p. 641.

³ Derselbe, Licht u. Wachstum, II, Zeitschr. f. Bot., 7. Jg., H. 8. 1915, p. 465.

⁴ E. Vogt, Über den Einfluß vertikaler Belichtung auf d. Zuwachsbewegung d. *Koleopt.* v. *Avena sativa*. Ber. d. deutsch. bot. Ges., 32. Jg., H. 3, 1914, p. 173. — Über d. Einfluß d. Lichtes auf d. Wachst. d. *Koleopt.* v. *Avena sativa*. Zeitschr. f. Bot., 7. Jg., 4. H., 1915, p. 193.

⁵ Blaauw, The primary photo-growth reaction usw., p. 780.

⁶ Jacobi, A. g. O., p. 10.

⁷ Jacobi: A. g. O., p. 20.

da ihn gleichfalls nur die sofort nach der Belichtung auftretenden Zuwachsgrößen interessieren. Jedenfalls aber ist es für mich wichtig, daß sich auch bei Beobachtungsintervallen von wenigen Minuten Dauer ein Auf- und Absinken der Zuwachsgeschwindigkeit ergibt, genau ebenso wie nach Stunden (die angeführten Auxanometerversuche) oder nach Tagen (die zuerst beschriebenen Meßversuche).

Wegen dieser Übereinstimmung der Meßversuche mit denen am selbstregistrierenden Apparate, muß auch die Bemerkung Vogt's (p. 250) zurückgewiesen werden, nach welcher meine Beobachtung, daß 24 Stunden nach der Belichtung von Keimlingen eine Beschleunigung des Längenwachstums eintritt, nicht richtig wäre. Vogt erhält eine Beschleunigung des Wachstums der Keimlinge schon wenige Minuten nach der Belichtung und behauptet nun, ohne die von mir benützten Zeitintervalle beobachtet zu haben, daß nach 24 Stunden die Beschleunigung schon abgeklungen wäre. Daß nun die nach Minuten auftretende Beschleunigung wieder verschwindet, stimmt wohl; unbekannt ist es jedoch Vogt, daß sie noch wiederholt abwechselnd mit Verzögerungen wieder erscheint, ehe sie vollständig verschwindet« (siehe Tabelle 1, 2, 3).

Zusammenfassung.

1. Die Einwirkung von monochromatischem Blau und monochromatischem Grün auf das Längenwachstum etiolierter Keimlinge von *Triticum vulgare*, welche nach der Belichtung im Dunkeln weiter kultiviert wurden, hat bei Beobachtungsintervallen von je 24 Stunden nachstehende Erscheinungen zur Folge:

- a) Sowohl blaues als auch grünes Licht ruft bei kürzerer oder längerer Einwirkungsdauer (1^{min.} — 1 Stunde) eine Beschleunigung des Längenwachstums der Keimlinge im Vergleich zur Dunkelpflanze hervor.
- b) Diese Beschleunigung verschwindet nach einigen Tagen; es tritt Verzögerung des Wachstums ein, welcher wieder eine Beschleunigung folgt, die dann gleichfalls abklingt.
- c) Je länger die Einwirkung des Lichtes dauert, umso später tritt die erste Beschleunigung auf.
- d) Bei längerer Exposition im Lichte (1 Stunde) tritt die Beschleunigung im Grün früher auf als im Blau.

2. Die Einwirkung von Dunkelheit, weißem Licht, einfachem roten, einfachem grünen und einfachem blauen Licht, zeigt an derselben Pflanzenart — *Triticum vulgare* — bei 1 stündigen Beobachtungsintervallen, mittels selbstregistrierendem Auxanometer folgende Resultate:

- a) Die Geschwindigkeit des Längenwachstums einer dauernd verdunkelten Pflanze zeigt anfänglich eine Zunahme, der eine allmähliche Abnahme folgt. Die aus Längenzuwachs und den 1 stündigen Zeitintervallen resultierende Kurve ist in diesem Falle die große Wachstumskurve.
- b) Die Aufschreibungen eines mit weißem Licht belichteten Keimlings liefern auch eine ansteigende Kurve. Da jedoch die Wachstumsgeschwindigkeit keine gleichmäßige ist, zeigen die Spiralen der Auxanometeraufzeichnungen Verdichtungen und Auflockerungen, die beim Übertragen in ein Koordinatensystem Wellenlinien ergeben.
- c) Diese Wellenlinien gleichen beiläufig einer Sinuskurve. In der Pflanze auftretende Gegenreaktionen bringen die Wellenlinien zum Abklingen.

Wachstumsreaktionen von Keimlingen.

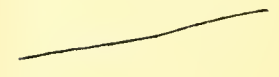
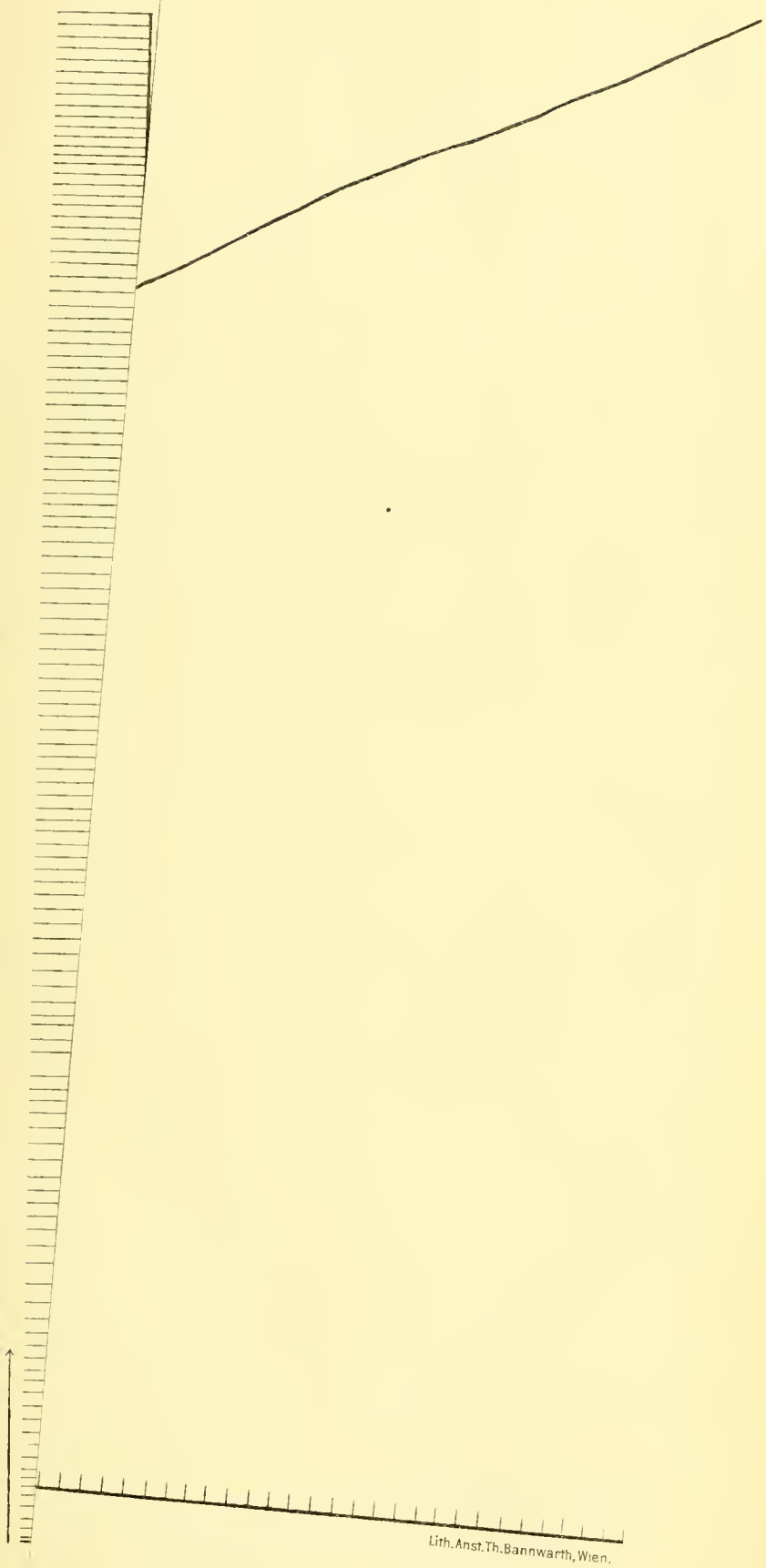
125

- d) Je größer die Intensität oder je länger die Dauer der Belichtung war, umso häufiger treten Verdichtungen der Spiralen (Wachstumsverzögerungen) auf.
 - e) Erhöhte Luftfeuchtigkeit hat eine das gesamte Wachstum beschleunigende Wirkung, ohne die Wirkungen des Lichtes aufzuheben.
 - f) Temperaturveränderungen können die Einwirkung des Lichtes vollständig verwischen.
 - g) Farbige Licht: rot, blau, grün hat eine ähnliche Wirkung zur Folge wie weißes. Bei allen drei Lichtarten treten Verdichtungen und Auflockerungen der Spiralen auf. Erstere werden durch stärkere Intensität oder längere Dauer des farbigen Lichtes vermehrt wie dies auch bei weißem Licht der Fall ist.
-

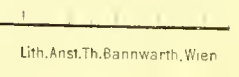
Jacobi, H

Tafel I.

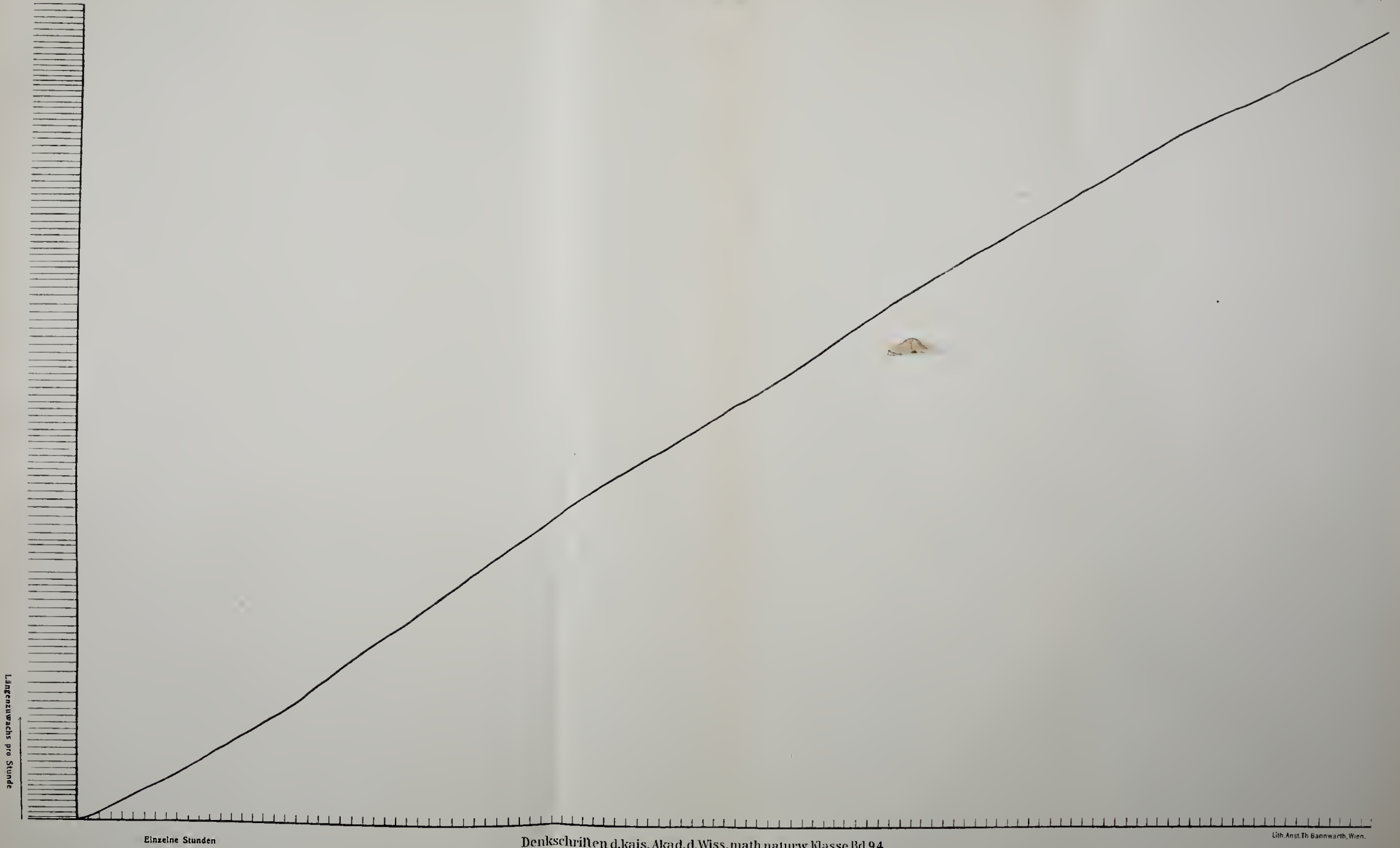
Tafel II.



↑
Ingenieurwache von Stundt



Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien.



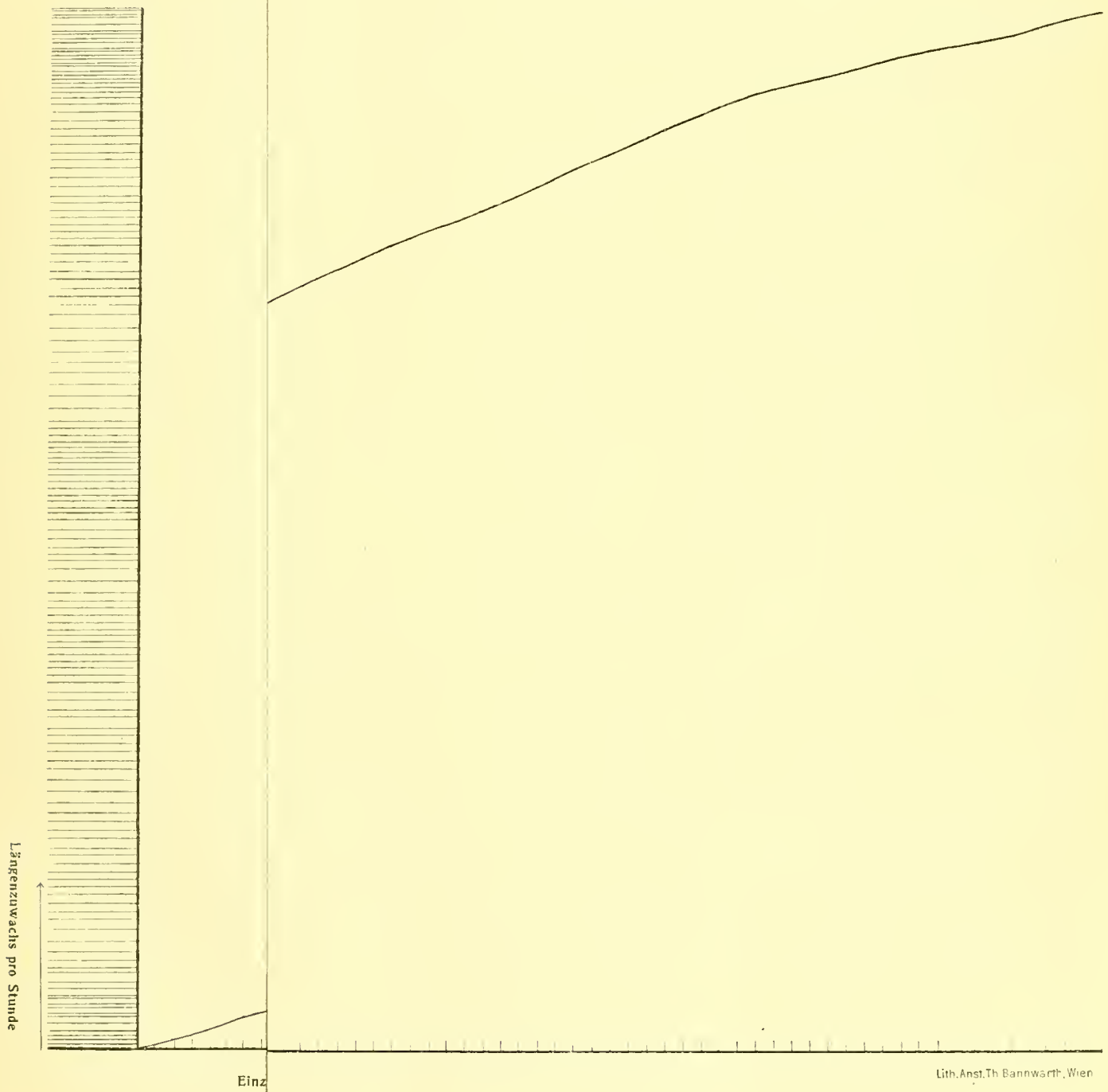
Einzelne Stunden

Denkschriften d. kais. Akad. d. Wiss. math. naturw. Klasse, Bd. 94.

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien.

Jacobi, H.: Wachstumsr

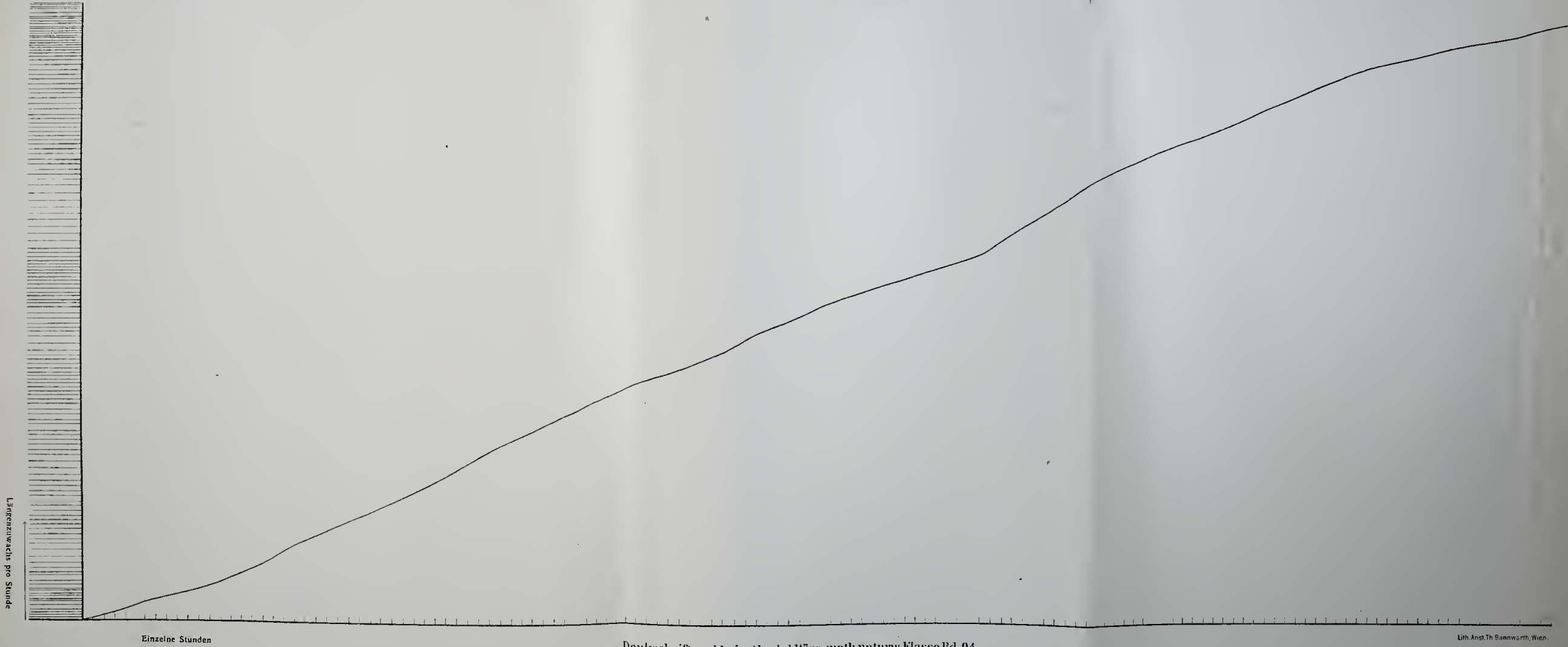
Tafel II.



Jacobi, H.: Wachstumsreaktionen von Keimlingen.

Lichtpflanze (1 Stunde Bogenlicht)

Tafel II.



Jacobi, H.: Wachstumsreaktionen von Keimlingen.

Versuchsdauer 2./VIII.—14./VIII.

Lichtart Dunkelpflanze

Belichtungszeit 0 Min.

3./VI.—9./VI.

Glühlicht
von 1·25 NK

3 Min.

8./V.—13./V.

Bogenlicht

1 Min.

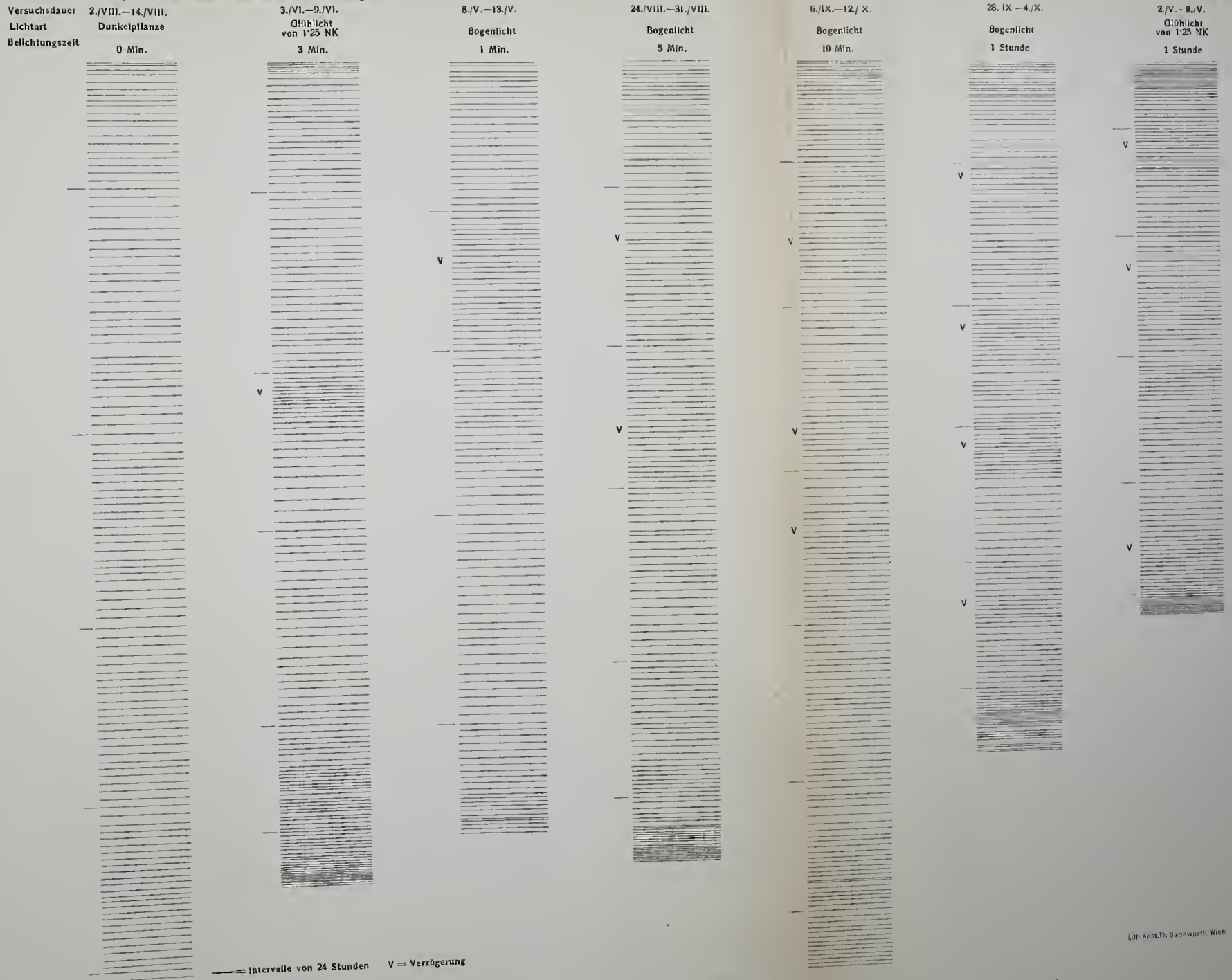
24./VIII.—31./VIII.

Bogenlicht

5 Min.



Jacobi, H.: Wachstumsreaktionen von Keimlingen.



Tafel III.

6./IX.—12./ X.

28. IX —4./X.

2./V. — 8./V.

Glühlicht
von 1·25 NK

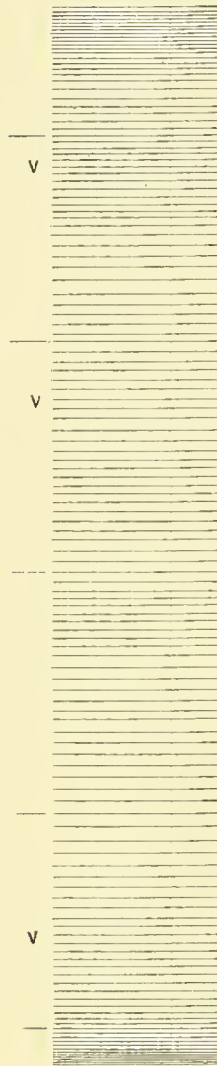
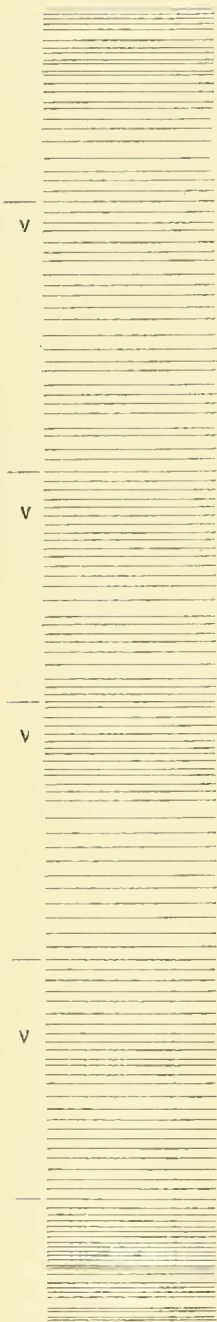
Bogenlicht

Bogenlicht

1 Stunde

10 Min.

1 Stunde



Jacobi, H.: Wachstumsreaktionen von Keimlingen.

Versuchsdauer 9./VIII. — 14./VIII.
 Variierende Versuchsbedingungen feucht
 Lichtart und Belichtungszelt Dunkelpflanze

25./V. — 29./V.
 trocken
 dunkel

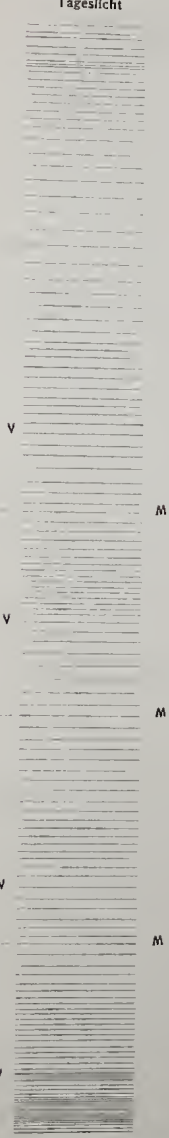
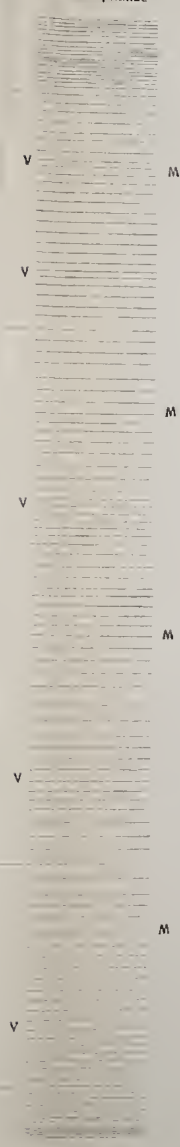
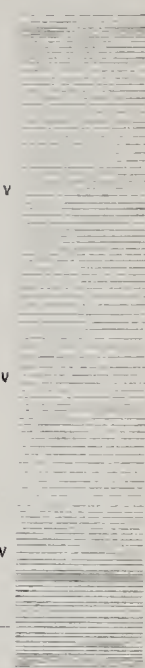
6./IX. — 12./IX.
 feucht
 10 Min. Bogenlicht

13./VIII. — 17./VIII.
 trocken
 10 Min. Bogenlicht

29./XI. — 5./12.
 bei schwankender Temperatur gehalten
 Dunkelpflanze

Taf. IV.
 22./XI. — 28./XI.
 bei schwankender Temperatur gehalten
 Tageslicht

Tafel V.
 /V. — 20./V.
 rot
 1 Stunde



M = Mittag

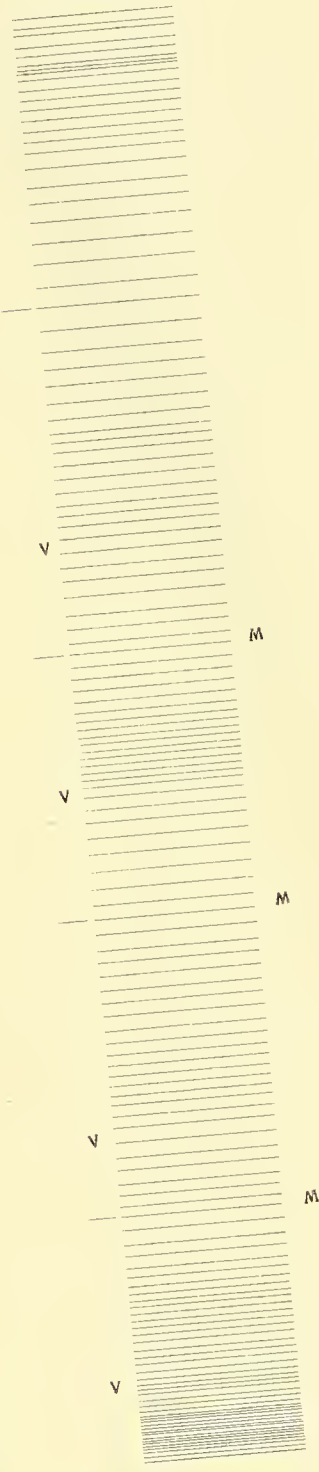
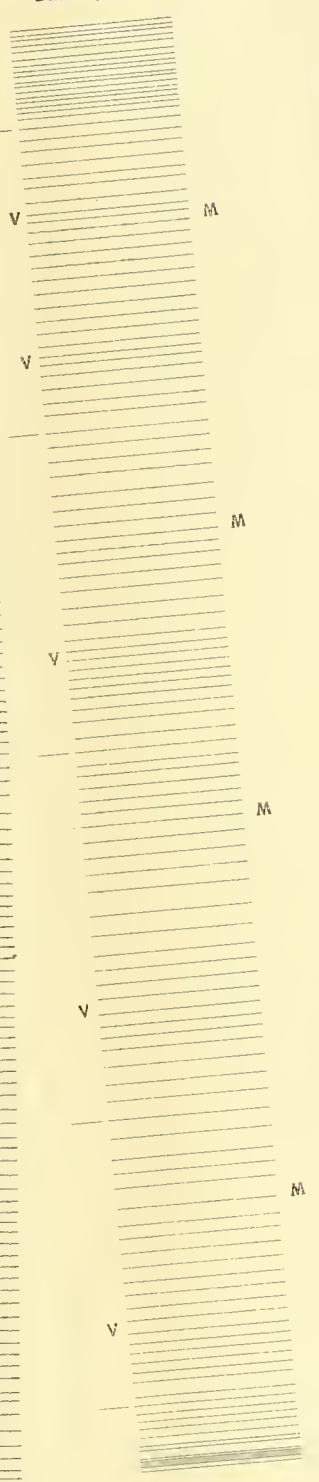
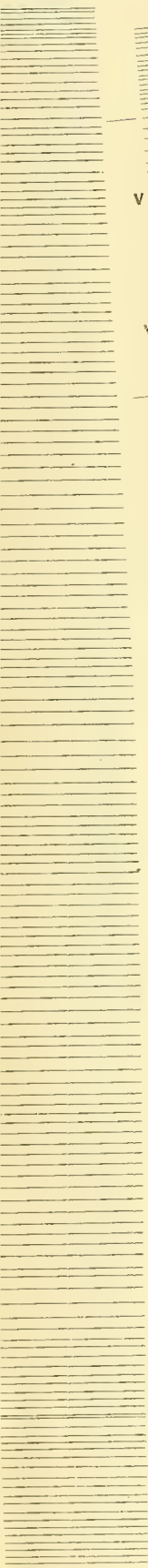
— = Intervalle von 24 Stunden
 V = Verzögerung

Taf. IV.

22./XI.—28./XI.
bei schwankender
Temperatur gehalten
Tageslicht

6./IX.—12./
Bogenlicht
10 Min.

29./XI.—5./12.
bei schwankender
Temperatur gehalten
Dunkelpflanze



M = Mittag

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien.

Jacobi, H.: Wachstumsreaktionen von Keimlingen.

Versuchsdauer 2./VIII.—14./VIII.

24./VIII.—30./VIII.

20./V.—25./V.

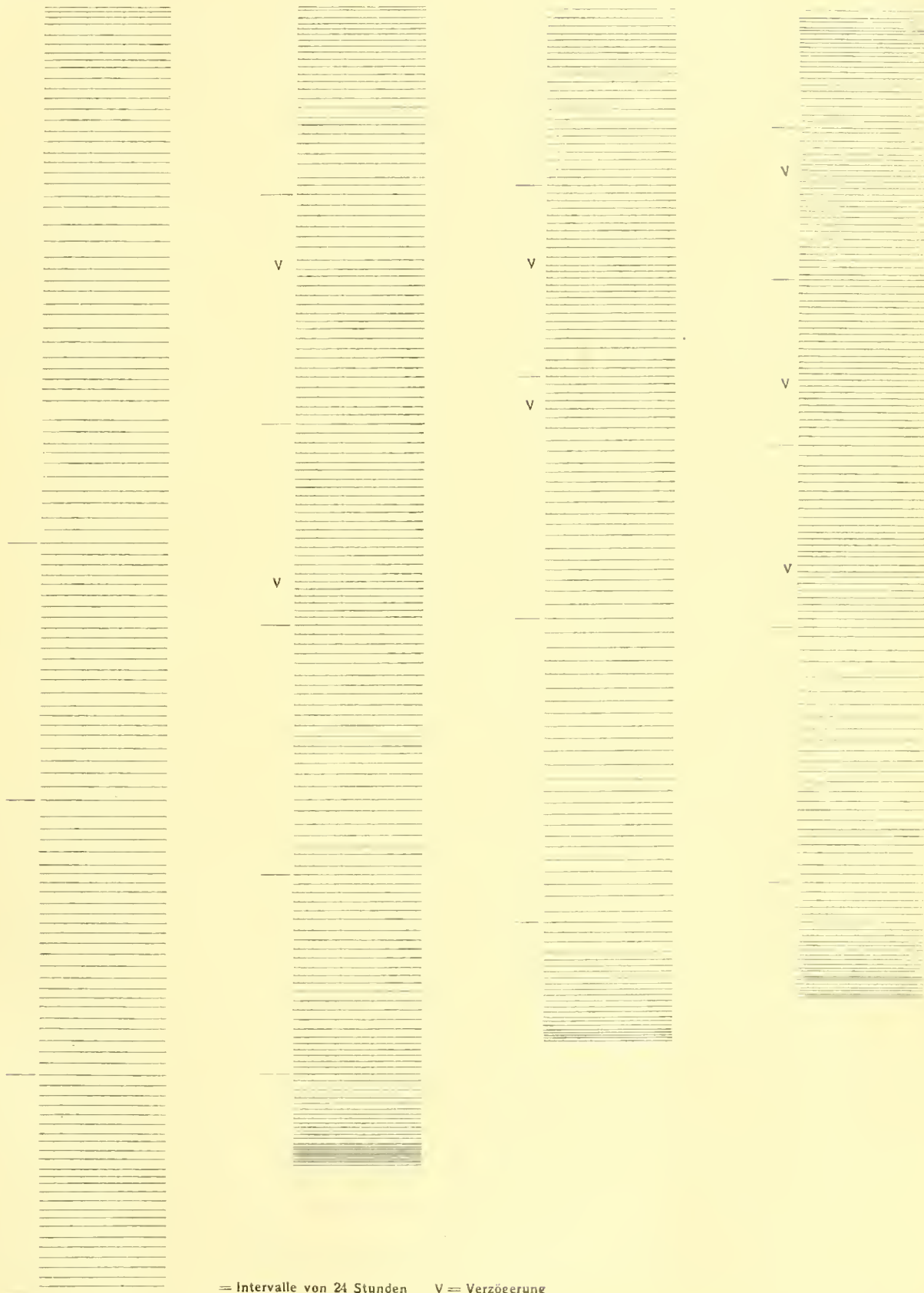
19./IV.—25./IV.

Lichtart Dunkelpflanze
Belichtungszeit 0 Min.

weiß
Bogenlicht
5 Min.

blau
1 Min.

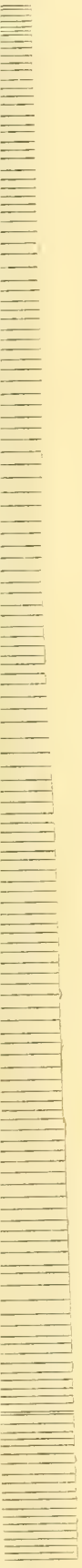
blau
5 Min.



v./IX

Bog

10



sse,Bd

Jacobi, H.: Wachstumsreaktionen von Keimlingen.

Versuchsdauer 2./VIII.—14./VIII.

Lichtart Dunkelpflanze

Belichtungszelt 0 Min.

24./VIII.—30./VIII.

weiß
Bogenlicht

5 Min.

20./V.—25./V.

blau

1 Min.

19./IV.—25./IV.

blau

5 Min.

25./IV.—2./V.

grün

5 Min.

12./IV.—19./IV.

rot

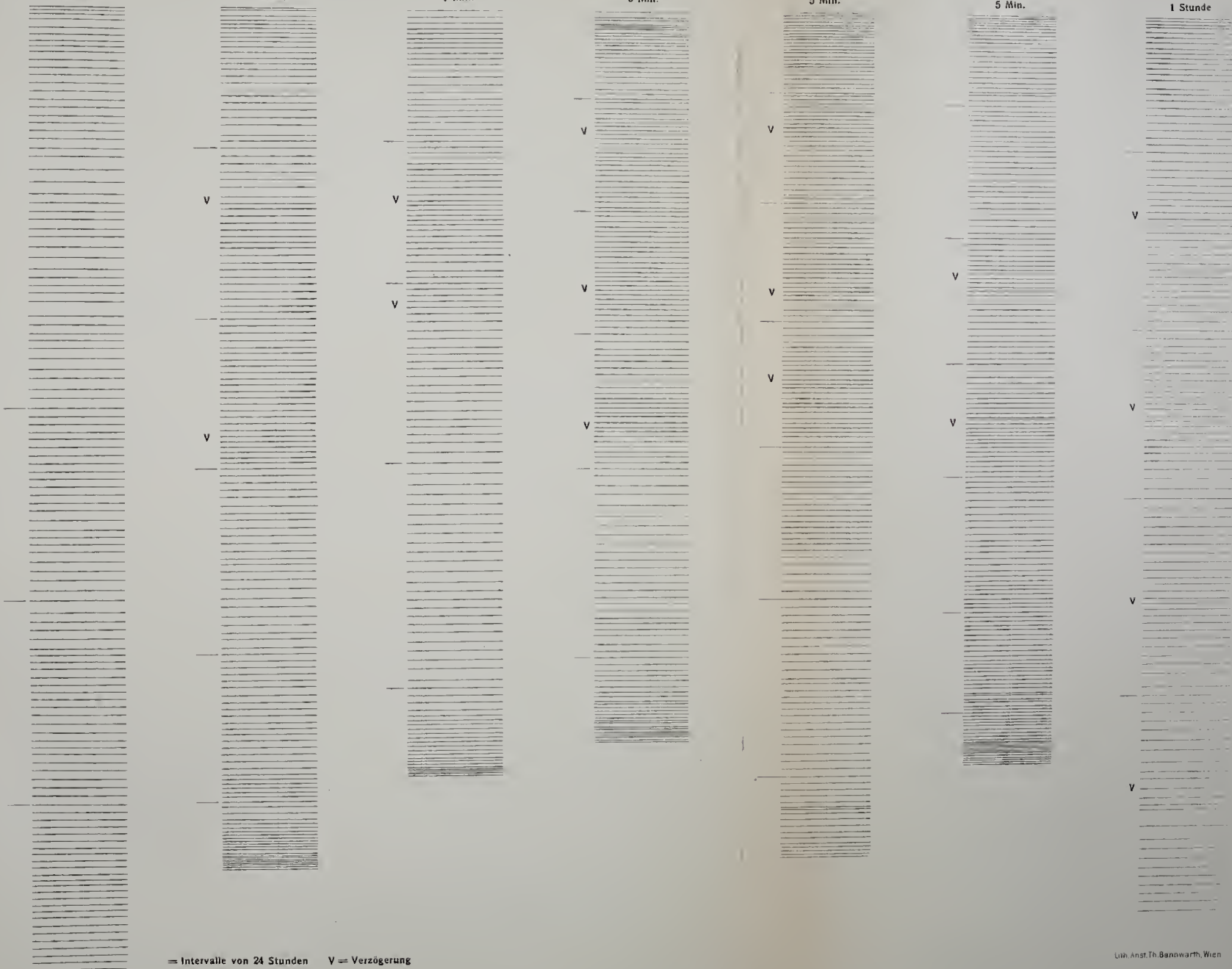
5 Min.

Tafel V.

15./V.—20./V.

rot

1 Stunde



= Intervalle von 24 Stunden V = Verzögerung

Lith. Anst. Th. Bennewarth, Wien

6./IX.—12./
Bogenlich
10 Min.

25./IV.—2./V.
grün
5 Min.

12./IV.—19./IV.
rot
5 Min.

Tafel V.
15./V.—20./V.
rot
1 Stunde

v

v

v

v

v

v

v

v

v

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Denkschriften der Akademie der Wissenschaften.Math.Natw.Kl. Frueher: Denkschr.der Kaiserlichen Akad. der Wissenschaften. Fortgesetzt: Denkschr.oest.Akad.Wiss.Mathem.Naturw.Klasse.](#)

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [94](#)

Autor(en)/Author(s): Jacobi Helene

Artikel/Article: [Wachstumreaktionen von Keimlingen, hervorgerufen durch monochromatisches Licht, II. Blau und Grün \(mit 5 Tafeln und 5 Textfiguren\). 113-125](#)