

- CHOPPER-LICHT - INTERMITTIERENDE PFLANZENBELICHTUNG

Ina Pinker* und Dieter Oellerich**
***Humboldt-Universität zu Berlin**
****Chopper GmbH, Berlin**

I. Zur Geschichte der intermittierenden Belichtung von Pflanzen

Erste Beobachtungen zum Einfluss von intermittierendem Licht beschrieben BROWN und ESCOMBE (1905). Sie berichteten, dass unter bestimmten Bedingungen im intermittierenden Licht die Hälfte der kontinuierlichen Belichtung genügt, ohne dass die Photosynthese beeinträchtigt wird. In diesen Experimenten wurde das intermittierende Licht mittels einer rotierenden perforierten Scheibe erzeugt (Abb.1).

Influence of reduced light flux density on leaves of *Tropaeolum majus*, L. on rate of assimilation. Data by Brown and Escombe (1905): (A) leaves exposed to sunlight, which had passed through thin screen; (B) leaves also under canvas screen, but light reduced further by revolving sectors. Equal light-dark periods; frequency unknown

Experiment	CO ₂ assimilated by leaf per decimeter per hour (cm ³ , corrected)	L.U.*
Experiment (1)		
4/9/00. A. Full light flux density (continuous)	1.692	1.00
B. Half light flux density (intermittent)	2.029	2.40
Experiment (2)		
18/9/00. A. Full light flux density (continuous)	1.919	1.00
B. Half light flux density (intermittent)	2.047	2.13
Experiment (3)		
13/9/00. A. Full light flux density (continuous)	1.926	1.00
B. Quarter light flux density (intermittent)	1.311	2.72

* Calculated from data and normalized to full light flux density.

Abbildung 1: Einfluss einer reduzierten Fluxdichte auf die Assimilation von *Tropaeolus major* Blättern (BROWN & ESCOMBE 1905, *aus SAGER und GIGER, 1980)).

GARNER und ALLAND (1931) untersuchten den Einfluss der Länge der Licht/Dunkel-Intervalle auf das Wachstum von Pflanzen und fanden, dass ein Wechsel zwischen Licht/Dunkel im 5 Sekundenrhythmus die besten Ergebnisse im Vergleich mit dem "natürlichen" 12 h Tag brachte (Abb. 2). GREGORY and PEARCE (1937) diskutierten diese Ergebnisse im Zusammenhang mit der Öffnung der Stomata und der davon abhängigen Verfügbarkeit von CO₂ als Substrat der Dunkelreaktion. WARBURG (1919) fand aber auch

Effekte von intermittierendem Licht bei Algen, bei denen kein Einfluss der Stomata gegeben ist.

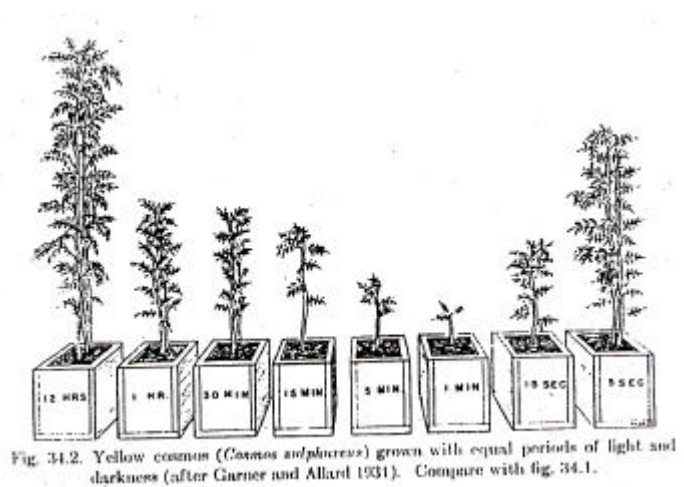


Abbildung 2: Der Einfluss von intermittierendem Licht auf das Wachstum von *Cosmos sulphureus* Pflanzen (GARNER & ALLARD 1931).

Neben Autoren, die mit ihren Versuchen den fördernden Einfluss der intermittierenden Belichtung belegten, gibt es in der Literatur auch gegenteilige Auffassungen wie die von RABINOWITSCH (1956). Er berechnete, dass die Photosyntheserate im intermittierenden Licht die des kontinuierlichen Lichtes erreichen aber nicht überschreiten kann. SAGER und GIGER bewerteten die bis 1980 erschienen Daten erneut. Als Grund für die oft gegensätzlichen Schlussfolgerungen der verschiedenen Autoren geben sie die unterschiedliche Vorgehensweise bei der Datenanalyse an und schlagen die Beachtung von zwei Grundprinzipien vor:

1. gleiche Belichtungszeit und Lichtflussdichte für die Bewertung der Pflanzenreaktion
2. gleiche mittlere Lichtflussdichten im intermittierenden und kontinuierlichem Licht.

Als mathematisches Maß für die Effektivität der Lichtnutzung dient der Lichtnutzungsfaktor - "light utilisation factor" (LU), der Parameter wie Zuwachs, Biomassebildung oder Photosynthese in einer bestimmten Zeit ermittelt und den Quantenbedarf dafür bestimmt. Das Verhältnis der Lichtnutzungsfaktoren im intermittierenden Licht und im kontinuierlichen Licht gibt Auskunft über die Effektivität der Lichtnutzung. CHALZON und PEARCY (1986) gingen davon aus, dass wenn das Verhältnis der $LU > 1$ ist, das intermittierende Licht effektiver umgesetzt wird als das kontinuierliche. Die Versuche von WARBUNG mit *Chlorella* zeigten, dass der Belichtungsrythmus ganz entscheidend für die Effektivität der Lichtausnutzung ist. Je kürzer die Belichtungsintervalle waren, desto besser die Lichtausnutzung, vorausgesetzt, die Lichtintensität war hoch.

Effect of intermittent light applied to *Chlorella* sp. by Warburg (1919)

Light flux intensity	Duration of experiment (min.)	Total light period (min.)	Duration of one light period (s)	Rate of CO ₂ fixed (relative units)	LU* ¹
High* ²	15	15	Continuous	240	1.00
	30	15	15	142	1.18
	30	15	1.5	159	1.33
	30	15	0.38	184	1.52
	30	15	0.15	188	1.56
	30	15	0.038	210	1.75
	30	15	0.015	206	1.72
	30	15	0.0038	230	1.92
Low* ³	15	15	Continuous	82	1.00
	30	15	0.0038	39	0.96

*¹ Calculated from data and normalized to continuous mean light flux density.

*² Magnitude not given. Warburg stated that when light flux density was reduced to half, photosynthetic rate was essentially unaffected.

*³ Magnitude not given. Warburg stated that when light flux density was reduced to half, photosynthetic rate also dropped to half.

Abbildung 3: Intermittierende Belichtung von Algenkulturen (WARBURG, 1913, aus SAGER und GIGER, 1980)

Die Berechnungen von SAGER und GIGER (1980) führten jedoch zu einer anderen Bewertung dieser Ergebnisse. Sie bezogen die Lichtflussdichte in ihre Überlegungen mit ein und fanden, dass im intermittierenden Licht bei Algen sogar nur unter bestimmten Bedingungen die Effizienz des kontinuierlichen Lichtes erreicht wurde. Die Anwendung der gleichen Berechnungsgrundlage führte aber bei der Bewertung der Versuche von BROWN und ESCOMBE (1905, Abb. 1) zur Aussage, dass in diesem Experiment der Lichtnutzungsfaktor im intermittierenden Licht höher war als im kontinuierlichen. Die Untersuchungen mit Algen unterstützen also die Auffassung von RABINOWITCH, die Experimente mit höheren Pflanzen geben eher widersprüchliche Ergebnisse (SAGER und GIGER, 1980).

Spätere Versuche der Gruppe um Professor Paul Hoffmann an der Humboldt-Universität zu Berlin bestätigten die Bedeutung der Belichtungsintervalle und besonders des Verhältnisses von Licht- und Dunkelphasen (HIEKE und NEEF, 1989). An Chloroplastensuspensionen verschiedener Arten zeigten sie, dass zur vollständigen Regeneration des Elektronentransfersystems in der Dunkelphase 100 bis 150 ms benötigt werden. HAGEDORN und NEFF (1984) fanden, dass unter bestimmten Bedingungen mit intermittierender Belichtung 75 % der Lichtenergie der kontinuierlichen Belichtung gespart wurden.

II. Das Chopper-Licht-System

Die Untersuchung und Anwendung der intermittierenden Pflanzenbelichtung war bisher durch die fehlenden technischen Möglichkeiten eingeschränkt. Rotierende Lochscheiben oder sogenanntes Wanderlicht in Gewächshäusern waren sehr aufwendig und konnten nicht alle Ansprüche erfüllen.

Durch die Entwicklung der Chopper-Light-Technik (Oellerich GmbH, Berlin) für handelsübliche Leuchtstofflampen steht ein System zur Verfügung, das großflächig über lange Zeiträume die Anwendung von intermittierendem Licht auf Pflanzen ermöglicht.

In gewohnter Betriebsweise strahlt eine Leuchtstoffröhre eine kontinuierliche Schar von Lichtpulsen im Rhythmus von 10 ms (50 Hz Wechselstrom) aus. Ein Hertz erzeugt dabei zwei Lichtpulse mit einer Gesamtdauer von 20 ms. Mit der Chopper-Technik ist es möglich, im Hertz-Takt, d.h. im 20 ms-Rhythmus, die Leuchtstoffröhre zu schalten. Schon mit einem Zehnfach-Schalter kann damit eine Vielzahl unterschiedliche Licht/Dunkel-Phasen erzeugt werden (Abb. 4). Durch Einsatz der Computersteuerung lassen sich die Schaltsequenzen noch weiter variieren. Es steht damit ein flexibles Belichtungssystem zur Verfügung, das ohne Verzögerung den Lichtansprüchen der Pflanzen angepasst und in Intervallen (Millisekundenbereich) geschaltet werden kann, die sich in vorangehenden Untersuchungen (siehe Abschnitt I) als sehr günstig erwiesen hatten.

Die Lebensdauer der Leuchtstoffröhre wird durch die häufigen Schaltvorgänge nicht beeinträchtigt, wie in Dauerversuchen über nun mehr als 5 Jahre belegt wurde.

Das Schalten der Leuchtstofflampen hat einen zusätzlichen Effekt. Die spektrale Zusammensetzung des Lichtes verändert sich im Vergleich zur kontinuierlichen Betriebsweise. Durch das Nachleuchten der Rohrrinnenwand der Leuchtstoffröhren nach dem Abschalten wird im Chopper-Betrieb mehr gelb-rotes Licht emittiert (Abb. 5).

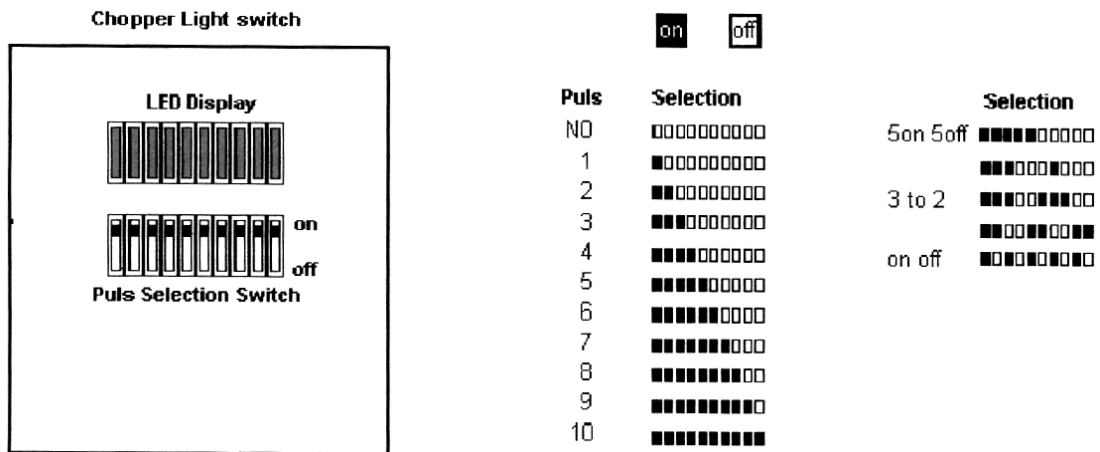


Abbildung 4: 10 fach DIP-Schalter mit verschiedenen Schaltfolgen für Licht/Dunkel (on/off)

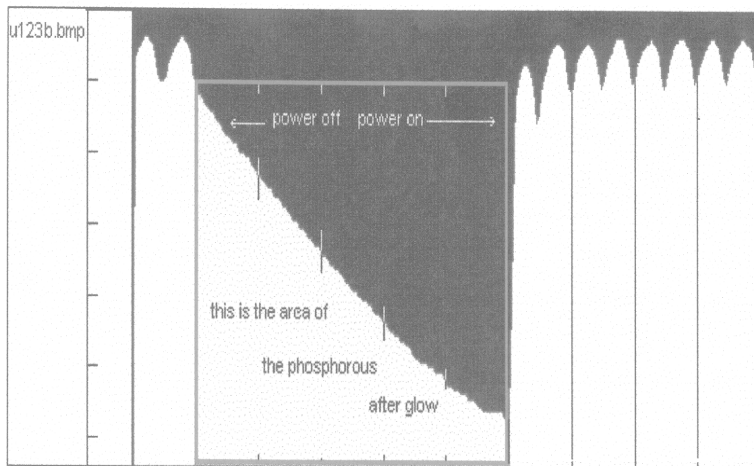


Abbildung 5: Schaltfolge 100 ms Licht /100 ms Dunkel mit dem Nachglimmen in der Dunkelphase

III. Die Anwendung von Chopper-Licht *in vitro*

Die Anwendung intermittierender Belichtung wurde für Algen, höhere Pflanzen und isolierten Chloroplasten untersucht, es gab aber keine Berichte über die Anwendung in den Pflanzenanzuchträumen der In-vitro-Labore. Hier wird für die künstliche Belichtung der Mikropflanzen und die Klimatisierung, vor allem zur Abfuhr der bei der Belichtung entstehenden Wärme, viel Energie aufgewendet. Durch die Nutzung der Chopper-Technik kann sowohl die Nutzung des Lichtes für die Stoffproduktion verbessert als auch die zur Klimatisierung notwendige Energie verringert werden.

Es wurden deshalb nun über 5 Jahre dauernde Langzeitversuche mit verschiedenen In-vitro-Sproßkulturen angestellt, die folgendes untersuchen sollten:

1. Kann Chopper-Licht in der Mikrovermehrung genutzt werden, ohne Pflanzenschäden hervorzurufen?
2. Wachsen die Sprosskulturen unter Chopper-Licht mit der gleichen Vermehrungsrate und der gleichen Sprossqualität?
3. Welche Rolle spielt die Lichtintensität und die Chopper-Frequenz sowie die Dauer der Licht/Dunkel-Phasen?

Es zeigte sich, dass die untersuchten Sprosskulturen von verschiedenen Ziergehölzen (*Amelanchier lamarckii*, *Prunus tenella*, *Prunus cerasifera*, *Prunus glandulosa*, *Tilia cordata*) über die gesamte Zeit im Chopper-Light vermehrt werden konnten. Die Ansprüche an die Belichtungsbedingungen, vor allem die optimale Chopper-Frequenz waren jedoch kulturspezifisch. Erste Ergebnisse wurden in Brüssel 1998 vorgestellt (PINKER, 1999).

Es bleibt noch zu untersuchen, wie andere Kulturen auf diese Lichtbedingungen reagieren. Beobachtungen an *Spathiphyllum* deuten darauf hin, dass auch tropische und subtropische Pflanzen unter diesen Bedingungen angezogen werden können. Die mögliche Energieeinsparung durch das Chopper-Light-System konnte in diesem Stadium noch nicht ermittelt werden, dazu sind Messungen in größeren Anzuchtträumen erforderlich.

Literatur

- BROWN, H.T. and F.T. ESCOMBE: Resaerches on some of the physiological processes of green leaves, with special reference to the interchange of energy between the leaf and its surrounding. Proc. R. Soc., London, Ser B: S. 29-111, 1905.
- CHALZON, R.L. and R.W. PEARCY: Photosynthetic response to light variation in rainforest species II. Carbon gain and photosynthetic efficiency during lightflecks. Decologia 69: S. 524-531, 1986
- HIEKE, B. und E. NEEF: The rate-limiting step of DCPIP photoreduction by isolated chloroplasts of different plant species, characterized by measurements under intermittent irradiation with variable flash and dark interval. Photosynthetica 23(4), 524-536, 1998.
- PINKER, I.: Chopper-Light for shoot cultures. Acta Hort. 520 (10), S. 195-202, 2000
- RABINOWITSCH, E.I.: Photosynthesis and related processes. Vo. 2, Part 2, Interscience New York, 1956
- SAGER, J.C. und W. GIGER : Re-evaluation of published data on the relative photosynthetic efficiency of intermittent and continuous light. Agricultural Meteorology 22, 289-302, 1980.