

Abschlussbericht Einsatz von Philips GreenPower LED string in der In-vitro- Vermehrung



Eine Einrichtung des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

Einsatz von Philips GreenPower LED string in der In-vitro-Vermehrung

Wissenschaftliche Tätigkeit Nr. 101502 (BGB 3807)

Projektleitung: DI Dr. Katharina Hristoforoglu

Projektmitarbeiter: Stefan Szalay, Ing. DI Helene Marous, Minori Janda, Lydia Kröpfel

Projektlaufzeit: 2020-2022

Wien, 2023

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:
HBLFA für Gartenbau und Österreichische Bundesgärten
Grünbergstraße 24, 1130 Wien
Wien, 2021. Stand: 4. Februar 2023
Kontakt: E-Mail: katharina.hristoforoglu@gartenbau.at
Tel.: +43 1 8135950 330

Inhalt

Einleitung.....	6
Versuchsdurchführung	7
Ergebnisse.....	8
Zusammenfassung	11
Bilder und Diagramme.....	12
Abbildungsverzeichnis.....	16
Tabellenverzeichnis.....	17
Literaturverzeichnis.....	18

Einleitung

Philips hat seine LED Technologie im Gartenbau weiter optimiert: Während bereits vor einigen Jahren LEDs in Glashäusern zur Anwendung kamen ist der Einsatz in der pflanzlichen Gewebekultur noch relativ jung. Gemeinsam mit den Produktionsbetrieben Peerdeman Orchideeën und Royal van Zanten wurden umfangreiche Tests in In-vitro-Labors durchgeführt. Mit dem Ergebnis einer Verbesserung oder gleichbleibenden Pflanzenqualität und Pflanzengesundheit sowie einer höheren Vermehrungsrate. Ein großes Plus ist die bis zu 60%ige Energiereduktion in der Pflanzenvermehrung und bis zu 80%ige in der Kühlagerung (Erhaltungskulturen) sowie geringere Wärmeentwicklung. Als Zielsetzung ist der Ersatz der seit Jahren im In-vitro-Labor der HBLFA für Gartenbau verwendeten Fluoreszenzlampen (Sylvania Grolux, Sylvania Standard cool white) durch LEDs. Zu Projektstart waren die von verschiedenen Testbetrieben positiv bewerteten Philips GreenPower LED string nicht mehr im Handel beziehbar. Als Alternative wurde die LED Leuchte (dimmbar) Flex Pro Serie 4 der Firma **sanlight** mit einer Lichtintensität von durchschnittlich 11,22 bis 76,13 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ getestet.

Versuchsdurchführung

Die Produktion von Pflanzen im Reagenzglas benötigt im Vergleich zur Glashausproduktion deutlich geringere Lichtintensitäten. Steril vermehrte Pflanzenkulturen reagieren bei zu hohem Lichtangebot mit raschem Abbau, Reduktion des Vermehrungserfolges sowie Verkürzung der Sprosslänge. Daher sollten krautige Pflanzen und Gehölze über einen längeren Zeitraum beobachtet werden, da eine erhöhte Lichtintensität nicht generell sofort als Stress empfunden wird.

An der HBLFA für Gartenbau haben sich in der pflanzlichen In-vitro-Vermehrung folgende Fluoreszenzlampen mit geringer PPFD (photosynthetic photon flux density) von 10-35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bewährt: Sylvania GroLux mit langwelligem roten und kurzwelligem blauen Licht; Sylvania Standard cool white mit kaltem, weißem Licht. In der Photosynthese absorbiert das Chlorophyll der Pflanze hauptsächlich blaues (Wellenlänge ca. 450nm) und rotes (Wellenlänge ca. 660nm) Licht. Sylvania GroLux -Leuchtstoffröhren stellen das für die Photosynthese im blauen und roten Bereich benötigte Licht im optimalen Verhältnis zur Verfügung. Kaltes, weißes Licht findet unter anderem in der In-vitro-Keimung sowie In-vitro-Vermehrung von *Ericaceen* (*Rhododendron*, *Vaccinium*) Verwendung. In den letzten Jahren wurden von verschiedenen Firmen LED Leuchten für die Pflanzenproduktion, wie z.B. LED Belichtung für vertikale Farmen und Innenräume sowie für die Kultivierung im Reagenzglas entwickelt. Laut BORNWÄßER (2011) handelt es sich dabei um eine innovative und zukunftssträchtige Belichtungsmöglichkeit in der In-vitro-Kultur.

An der HBLFA für Gartenbau werden die seit Jahren verwendeten Fluoreszenzlampen der Firma Sylvania mit der LED Leuchte Flex Pro Serie 4 (dimmbare, Länge: 1167 mm, Leistung: 35,2 Watt) der Firma sanlight, mit einer Lichtintensität von durchschnittlich 11,22 bis 76,13 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, verglichen. Als Versuchspflanzen stehen eine Vielzahl verschiedener Gattungen an krautigen Pflanzen (*Crassula*, *Drosera*, *Kalanchoe*, *Orchidaceae*, *Saintpaulia*) und Gehölzen (*Ficus*, *Juglans*, *Pyrus*, *Rhododendron*, *Sorbus*, *Vaccinium*) zur Verfügung. Diese werden auf Wuchsverhalten (Habitus, Sprosstreckung, Ausfärbung des Blattgrüns) und Vermehrungserfolg bonitiert. Die Versuchsfläche umfasst zwei Stellagenflächen mit insgesamt vier LEDs. Die Unterteilung in 10 Lichtintensitätsstufen erfolgt mittels eines PAR-Messgerätes.

Ergebnisse

An der HBLFA für Gartenbau wurde zu Beginn der Testung von LEDs in der pflanzlichen In-vitro-Vermehrung die dimmbare Leuchte Flex Pro Serie 4 (Firma **sanlight**) in 10 Lichtintensitätsstufen von durchschnittlich $16,75 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bis $74,4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ unterteilt (Tabelle 1, Abb. 3). In einem weiteren Schritt wurde für *Vaccinium myrtillus* bis zur minimalst messbaren Stufe von durchschnittlich $11,22 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Minus Stufe 1) runterreguliert. Bei den Kontrollen wurden Lichtintensitäten von durchschnittlich $14,5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Sylvania GroLux) und $15,5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Sylvania Standard cool white) gemessen.

Cattleya/BG (vegetative Vermehrung): Bei *Cattleya* wurde das Wuchsverhalten auf dem Nährboden 478 als auch die Ausbildung protocormähnlicher Körper auf 489 PPM, über einen längeren Zeitraum von bis zu einem Jahr beobachtet. In den ersten Monaten waren Wuchsverhalten und Protocormausbildung auf LED Stufe 3 ident mit der Kontrolle (Sylvania GroLux). Während im Habitus der Pflänzchen auf 478 kein Unterschied auftrat, bildeten sich innerhalb eines Jahres auf 489 PPM kaum Protocorme aus. Auf Sylvania GroLux hingegen konnte eine Vielzahl an protocormähnlichen Körpern induziert werden.

Citrus meyeri x paradisi 'Limonade': Die Kultivierung bei LED Stufe 2 und LED Stufe 3 hat keine Verbesserung gebracht. Im Gegensatz zur Kontrolle (Sylvania-GroLux) bildeten sich bei LED Stufe 2 dünne, chlorotische Blätter aus die abfielen. Auch bei LED Stufe 3 kam es zu einer Qualitätsverschlechterung der In-vitro-Kultur. *Citrus meyeri x paradisi 'Limonade'* wurde wieder auf Sylvania GroLux umgestellt.

Crassula ovata, Crassula pellucida ssp. marginalis 'Variegata': Analog zur Kontrolle (Sylvania GroLux) konnten zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden. Bei *Crassula pellucida* zeigte sich ein deutlich kompakterer Habitus im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 5).

Crocus sativus: Bei der 2023 begonnenen wissenschaftlichen Tätigkeit konnten an Knollen Regenerate induziert werden. Dabei handelt es sich um Mikrospore, embryogenen Kallus und Mikroknollen. Die Kultivierung ist schwierig da es zu keinen synchronen Ablauf der Entwicklung kommt. Erste Ergebnisse von *Crocus sativus* auf LED Stufe 1 und LED Stufe 2 zeigten im Vergleich zur Kontrolle Sylvania GroLux positive Ergebnisse. Auf LED Stufe 3 kam es bei den Mikrosporen zu einem deutlich stärkeren Wachstum. Es wird in weiterer Folge der Einfluss der maximalen Lichtintensität von $72,7 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ auf die Ausbildung von Mikroknollen untersucht. Laut SHARMA et. al (2008) und PARRAY et. al (2012) wurde *Crocus sativus* bei sehr hohen Lichtintensitäten von $140 - 145 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ und $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ kultiviert.

Drosera rotundifolia: Analog zur Kontrolle (Sylvania Grolux) konnten zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden. Beide, sowohl Kontrolle als Versuchsvariante zeigten ein zufriedenstellendes Wachstum mit Blütenbildung sowie Induktion von Jungpflänzchen.

Juglans regia (juvenil): Bei *Juglans regia* konnte über 4 Subkulturen hinweg der Einfluss von LED Stufe 3 auf die Anzahl induzierter Mikrospore/Explantat untersucht werden (Abb. 1). Mit Ausnahme von JU/S8 und JU/S12 wo eine höhere Anzahl Mikrospore/Explantat induziert wurde, zeigten die restlichen Sämlingsklone ähnliche Werte. Im Habitus hingegen konnten deutliche Unterschiede beobachtet werden. Die Kontrollvariante auf Sylvania Grolux schnitt deutlich besser ab. Die Versuchsvariante wies eine geringere Streckung der Sprossachse sowie adultes Verhalten mit raschem Abbau und gelben Blättern auf. Die Kulturen wurden wieder auf Sylvania Grolux umgestellt.

Juglans regia (adult): Im Vergleich zur Kontrolle (Sylvania Grolux) wurden bei LED Stufe 3 mehr Sprosse induziert. *Juglans regia* aus adultem Etablierungsmaterial ist seit der In-vitro-Etablierung mit endophytischen Bakterien belastet. Auf LED Stufe 3 konnte auf die Biozidübertropfung mit 100%igm PPM verzichtet werden. Dadurch bedingt kam es vermehrt zur Ausbildung von Mikrosporen mit Streckung der Sprossachse. Die Kulturen dürften jedoch aufgrund des unkontrollierten Bakterienwachstums schneller abbauen. Es mussten daher kürzere Subkulturintervalle von maximal vier Wochen, analog wie bei *Juglans regia (juvenil)* eingehalten werden.

Pyrus: Die Mostbirnensorten 'Speckbirne' (Spe/2) und 'Grüne Pichlbirne' (Pi/2/A M31) wurden bei LED Stufe 3 kultiviert. Die beiden Sorten reagierten bereits innerhalb einer Subkultur mit starkem Abbau und geringerer Wuchshöhe als bei der Kontrolle Sylvania Grolux (Abb. 6). In einem Kulturglas der Speckbirne bildeten die Mikrospore auffallend große Blätter. Die Lichtintensität von durchschnittlich $35,44 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 3) dürfte für *Pyrus* zu hoch sein.

Rhododendron ferrugineum: Bei LED Stufe 3 wurde bei den Sämlingsklonen S22/16, S22/17 und S26/7 eine deutlich höhere Anzahl von Mikrosporen im Vergleich zur Kontrolle (Sylvania Standard cool white) induziert. Als negativ erwies sich bei S22/16 und S22/17 ein großer Anteil feiner, fädiger Mikrospore sowie ein rascherer Abbau als bei der Kontrolle.

Sorbus torminalis: Bei *Sorbus torminalis* konnten auf LED Stufe 2 und LED Stufe 3 positive Ergebnisse erzielt werden (Abb. 2) Vergleicht man die beiden Versuchszeitpunkte mit der Kontrolle (Sylvania Grolux) so kam es bei der LED Stufe 2 und LED Stufe 3 zur Erhöhung der Induktion von Mikrosporen/Explantat. Wobei bei LED Stufe 3 die höchste Anzahl induzierter Mikrospore von 2,042 und 2,114 im Vergleich zur Kontrolle von 1,014 und 1,77 erzielt wurde. Es konnte nur über eine Zeitspanne von zwei Subkulturen bewertet werden, da *Sorbus*

torminalis generell schwierig in Erhaltungskultur zu kultivieren ist. Bereits nach wenigen Subkulturen kann es zu einer Zunahme der Glasigkeit und dadurch bedingt zu einem Totalausfall der In-vitro-Kultur kommen. Aus diesem Grunde erfolgt die Erhaltungskultur bei *Sorbus torminalis* an der HBLFA für Gartenbau bei 5°C im Kühlschrank.

***Vaccinium myrtillus*:** Die Erhaltungskulturen von *Vaccinium myrtillus* zeigten über Jahre hinweg bei Sylvania Standard cool white ein adultes Verhalten mit verholzten Mikrosporen und chlorotischen Blättern. Beim Einsatz von LED Stufe 1 und LED Stufe 2 kam es im Vergleich zur Kontrolle zu keiner deutlichen Verbesserung im Habitus. Erst die Kultivierung bei LED Stufe Minus 1 - niedrigste Stufe bei der die Lichtintensität in $\mu\text{mol m}^2/\text{s}$ gemessen werden konnte – ergab eine deutliche Verbesserung (Abb. 4). Es bildeten sich viele juvenile Sprosse. Aufgrund der gegen Glasigkeit oder Vitifizierung verwendeten Belüftungsdeckel kommt es nach ungefähr 8 Wochen zum Verdichten des Nährbodens, dadurch bedingt an den juvenilen Sprossen zum Vertrocknen einzelner Blätter. Da die Sprossspitze weiter wächst, sterben die Mikrospore nicht ab. Die geringe Lichtintensität hat eine deutlich sichtbare Verbesserung gebracht, sodass die *Vaccinium myrtillus* Erhaltungskulturen ein juvenileres Wuchsverhalten aufweisen.

Zusammenfassung

An der HBLFA für Gartenbau wurde in der pflanzlichen In-vitro-Vermehrung der Einsatz von LEDs untersucht. Zu Projektstart waren die von verschiedenen Testbetrieben positiv bewerteten Philips GreenPower LED string nicht mehr im Handel beziehbar. Als Alternative wurde die LED Leuchte (dimmbare) Flex Pro Serie 4 der Firma sanlight mit einer Lichtintensität von durchschnittlich 11,22 bis 76,13 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ getestet. Diese wurde in 10 Stufen von durchschnittlich 16,75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bis 74,4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ unterteilt und mit den Messwerten der Kontrollen verglichen: Sylvania GroLux 14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Sylvania Standard cool white 15,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Bei der Testung von krautigen Pflanzen und Gehölzen ergaben sich große Unterschiede: Während bei *Crassula ovata*, *Crassula pellucida* ssp. *marginalis* 'Variegata', *Crocus sativus*, *Drosera rotundifolia*, *Juglans regia* (adult), *Sorbus torminalis*, *Vaccinium myrtillus* auf LED keine Unterschiede oder sogar bessere Ergebnisse erzielt wurden, kam es bei *Juglans regia* (juvenil) nach vier Subkulturen bei 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 3) zum Stressverhalten. Die Mikrospore zeigten eine geringe Sprossstreckung und rasche Gelbfärbung der Blätter. Im Vergleich dazu kam es bei der Mostbirne sofort zur Verkürzung der Sprossachse und raschem Abbau. Bei *Citrus meyeri* x *paradisi* 'Limonade' bildeten sich bei 20,86 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 2) chlorotische, dünne Sprosse aus, bei 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ zeigte sich ein rascher Abbau. Interessanterweise kam es bei *Rhododendron ferrugineum* trotz deutlich höherer Lichtintensität von 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ - im Vergleich zur Kontrolle Sylvania Standard cool white mit 15,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ - vermehrt zur Ausbildung feiner, fädiger Sprosse, die sich qualitativ nicht zur Bewurzelung eignen. Bei *Cattleya* hingegen zeigte sich bei 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ auf dem Nährboden 478 kein Unterschied im Habitus, während sich auf dem Nährboden 489 PPM zur Induktion von Sprossen und protokormähnlichen Körpern kaum Regenerate ausbildeten.

Gesamt betrachtet konnte durch die Einstellung der LED Leuchte Flex Pro Serie 4 auf die geringstmögliche messbare Lichtintensität von 11,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, bei *Vaccinium myrtillus* eine Rejuvenilisierung induziert werden. Bei *Crocus sativus* konnte bei 35,44 μmol eine Streckung von Mikrosporen und ergrünen dieser erzielt werden, wobei in vitro vermehrter Safran generell eine höhere Lichtintensität benötigen dürfte. Im LED -Versuch hat sich gezeigt, dass sich die im Bestand befindlichen Fluoreszenzlampen Sylvania GroLux und Sylvania Standard cool white sehr gut für die In-vitro-Vermehrung eignen. Für eine Ergänzung durch die LED Leuchte Flex Pro Serie 4, sind die erzielten Ergebnisse nicht zufriedenstellend genug.

Bilder und Diagramme

Abbildung 1: Induktion von Mikrosporen/Explantat an *Juglans regia* –Sämlingsklonen bei Lichtintensitäten von 14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Sylvania Grolux) und 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 3). Die Bewertung erfolgte über vier Subkulturen.

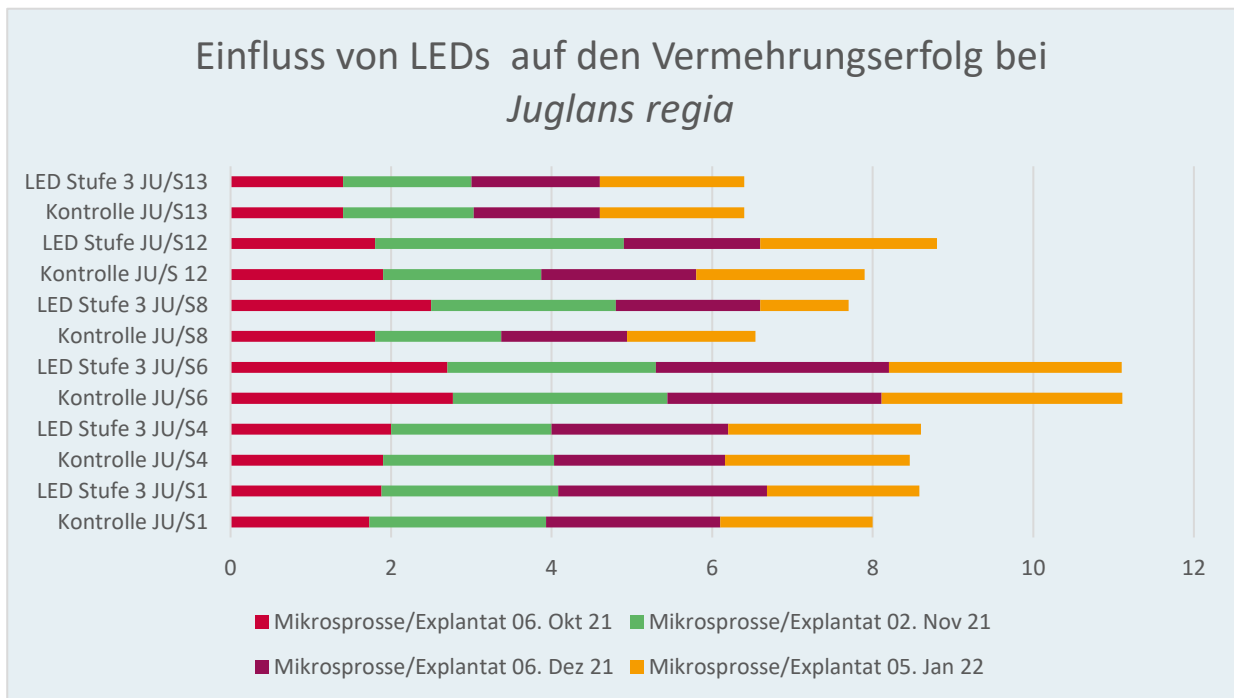


Abbildung 2: Einfluss von LEDs auf die Induktion von Mikrosporen/Explantat bei *Sorbus torminalis* über zwei Subkulturen hinweg. Lichtintensitäten: 20,86 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 2), 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 3), 14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Sylvania Grolux).

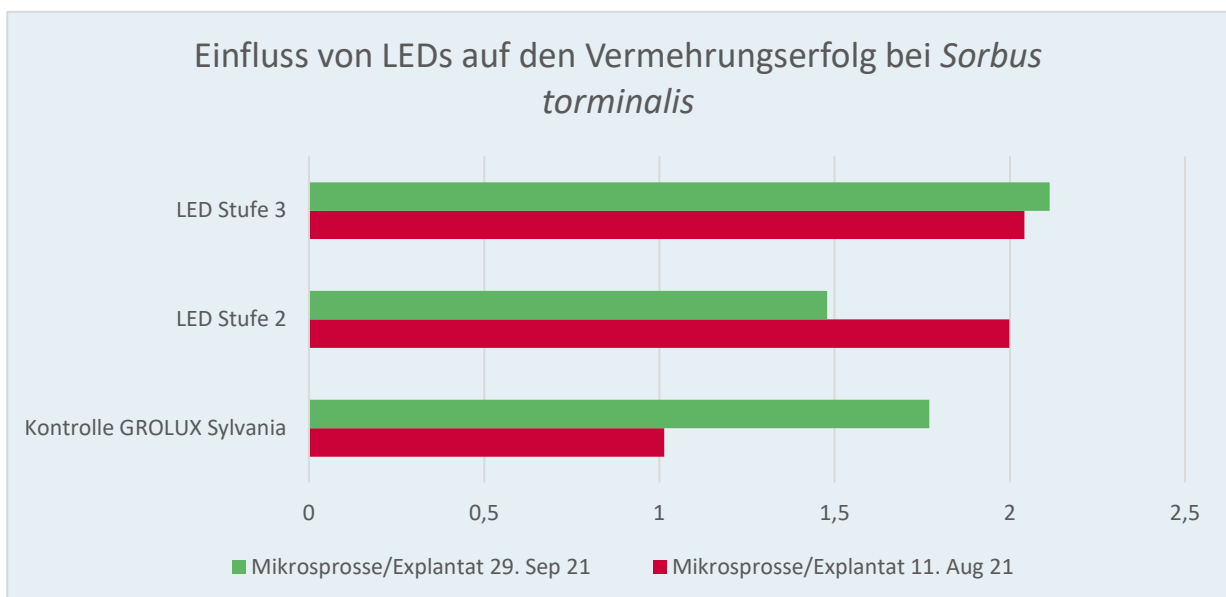


Abbildung 3: Kulturraum des In-vitro-Labors mit verschiedenen Lichtintensitäten. Kontrolle: Sylvania GroLux 14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (eine Fluoreszenzlampe) und 20,83 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (zwei Fluoreszenzlampen). In der untersten Etage LED Leuchte Flex Pro Serie 4 mit vier Versuchsvarianten: Minus Stufe 1 mit 11,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Stufe 2 mit 20,86 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Stufe 3 mit 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ und Stufe 4 mit 46,8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.



Abbildung 4: *Vaccinium myrtillus* –Kulturgläser unter LED Stufe Minus 1 (LED Leuchte Flex Pro Serie 4: 11,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).



Abbildung 5: *Crassula pellucida* ssp. *marginalis* 'Variegata' aus Lichtversuch: Linkes Kulturglas kultiviert bei LED Stufe 3 (35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) verglichen mit der Kontrolle Sylvania GroLux (14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).



Abbildung 6: Mostbirnensorte 'Grüne Pichlbirne' aus Lichtversuch: Linkes Kulturglas kultiviert bei LED Stufe 3 (35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) verglichen mit der Kontrolle Sylvania GroLux (14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).



Tabelle 1: Einteilung in Lichtintensitätsstufen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) der LED Leuchte Flex-Pro Serie 4 (Firma sanlight). Länge: 1167 mm, Leistung: 35,2 Watt, dimmbar.

Unterteilung der Lichtintensität	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) Mittelwerte \pm Standardabweichung	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) Mittelwerte (gerundet)
Stufe -1	11,2222 \pm 1,6415	11,22
Stufe 1	16,7500 \pm 3,6936	16,75
Stufe 2	20,8571 \pm 4,2201	20,86
Stufe 3	35,4444 \pm 7,1083	35,44
Stufe 4	46,8000 \pm 8,0526	46,80
Stufe 5	56,3000 \pm 11,4799	56,30
Stufe 6	67,3000 \pm 14,5835	67,30
Stufe 7	79,3750 \pm 10,1128	79,37
Stufe 8	75,5000 \pm 14,9239	75,50
Stufe 9	78,7000 \pm 13,6630	78,70
Stufe 10	74,4000 \pm 16,1534	74,40
Maximale Stufe	72,7000 \pm 15,0927	72,70
Stufe 7 bis Maximum	76,1320 \pm 2,8369	76,13

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Induktion von Mikrosporen/Explantat an *Juglans regia* –Sämlingsklonen bei Lichtintensitäten von 14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Sylvania GroLux) und 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 3). Die Bewertung erfolgte über vier Subkulturen. 12
- Abbildung 2: Einfluss von LEDs auf die Induktion von Mikrosporen/Explantat bei *Sorbus torminalis* über zwei Subkulturen hinweg. Lichtintensitäten: 20,86 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 2), 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LED Stufe 3), 14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Sylvania GroLux). 12
- Abbildung 3: Kulturraum des In-vitro-Labors mit verschiedenen Lichtintensitäten. Kontrolle: Sylvania GroLux 14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (eine Fluoreszenzlampe) und 20,83 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (zwei Fluoreszenzlampen). In der untersten Etage LED Leuchte Flex Pro Serie 4 mit vier Versuchsvarianten: Minus Stufe 1 mit 11,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Stufe 2 mit 20,86 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Stufe 3 mit 35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ und Stufe 4 mit 46,8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. 13
- Abbildung 4: *Vaccinium myrtillus* –Kulturgläser unter LED Stufe Minus 1 (LED Leuchte Flex Pro Serie 4: 11,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). 13
- Abbildung 5: *Crassula pellucida* ssp. *marginalis* ‘Variegata’ aus Lichtversuch: Linkes Kulturglas kultiviert bei LED Stufe 3 (35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) verglichen mit der Kontrolle Sylvania GroLux (14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). 14
- Abbildung 6: Mostbirnensorte ‘Grüne Pichlbirne’ aus Lichtversuch: Linkes Kulturglas kultiviert bei LED Stufe 3 (35,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) verglichen mit der Kontrolle Sylvania GroLux (14,5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). 14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung in Lichtintensitätsstufen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) der LED Leuchte Flex-Pro Serie 4 (Firma sanlight). Länge: 1167 mm, Leistung: 35,2 Watt, dimmbar.

15

Literaturverzeichnis

BORNWÄBER, T., 2011: Dissertation. Energieeffizienzsteigerung pflanzlicher In-vitro-Kulturverfahren mit Hochleistungs-LED-Belichtungssystemen. Naturwissenschaftliche Fakultät der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 164 Seiten

PARRAY, J.A., KAMILI, A.N., HAMID, R., HUSAINI, A.M., 2012: In vitro cormlet production of saffron (*Crocus sativus* L. Kashmirianus) and their flowering response under greenhouse. GM Crops & Food 3(4):289-295

SHARMA, K.D., RATHOUR, R., SHARMA, R., GOEL, S., SHARMA, T.R., SINGH, B.M., 2008: In vitro cormlet development in *Crocus sativus*. Biol. Plant. 52(4): 709-712

gartenbau.at