

Einfluss von Lichtqualität und -quantität auf das Wachstum von *Fallopia sachalinensis*



Freie wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

Vorlegt von: Alexandra Schappert

Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen (380)

Fg. Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen (380c)

Abgabedatum: 30.09.2013

Betreuer: Prof. Dr. Folkard Asch

1 Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	IV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	V
2 KURZFASSUNG	1
3 EINLEITUNG	2
3.1 PHOTOSYNTHESE	2
3.2 <i>FALLOPIA SACHALINENSIS</i>	4
3.3 VERSUCHSPLANUNG	5
4 MATERIAL UND METHODEN	7
4.1 PFLANZENMATERIAL	7
4.2 VERSUCHSAUFBAU	7
4.3 BEWÄSSERUNG UND DÜNGUNG	9
4.4 BELEUCHTUNG	9
4.5 KULTURBEDINGUNGEN	12
4.6 PROBENAHMEN	14
4.7 AUSWERTUNG	15
5 ERGEBNISSE	16
5.1 MORPHOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN	16
5.2 PHOTOSYNTHETISCHE AKTIVITÄT	26
6 DISKUSSION	30
6.1 MORPHOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN	30
6.2 PHOTOSYNTHETISCHE AKTIVITÄT	33
6.3 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN MORPHOLOGISCHEN VERÄNDERUNGEN UND PHOTOSYNTHETISCHER AKTIVITÄT	35
7 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND GGF. WEITERER FORSCHUNGSBEDARF	38
8 LITERATURVERZEICHNIS	41
9 ANHANG	44
ERKLÄRUNG	
DANKSAGUNG	

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1a) Schematische Darstellung der Aktionsspektrum-Messungen von T. W. Engelmann</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 1b) Absorptions- und Aktionsspektrum von Pflanzen (Taiz & Zeiger).....</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 2 Versuchsaufbau nach drei Wochen</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 3 Schematischer Versuchsaufbau zu Beginn der Versuchs</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 4 Schematischer Versuchsaufbau nach drei Wochen</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 5 Photometrische Daten der Na-Dampflampe SON-T 400W/220 E40 1SL (Philips ©). Wirkungsspektrum von Chlorophyll a und b und β-Carotin.....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 6 Lichtspektrum einer BloomPower black360 LED-Lampe eingetragen in ein Photosynthespektrum (spLED GmbH ©)</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 7 Gemessene Lichtintensitäten PAR [$\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$] an den Standpunkten der Töpfe unter der Beleuchtung durch LED und Na-Dampflampe.....</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 8 Temperatur im Gewächshaus während der Versuchsdauer.....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 9 Relative Luftfeuchte im Gewächshaus während der Versuchsdauer</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 10 Mittlere Blattanzahl von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 11 Mittlere Blattfläche in cm^2 von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 12 Mittlere Blatttrockenmasse in g von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen.....</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 14 Mittlere Spezifische Blattfläche in m^2/kg von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen.....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 15 Mittlere Stängelanzahl von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen</i>	<i>23</i>

<i>Abbildung 16 Mittlere Stängellänge in cm von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 17 Mittlere Stängeltrockenmasse in g von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 18 Mittlere Assimilationsrate in $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen.....</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 19 Mittlere Transpirationsrate in $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 20 Mittlere stomtäre Leitfähigkeit in $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 21 Morphologische Veränderungen nach 6 Wochen unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen.....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 22 Morphologie der Pflanzen nach 6 Wochen: ohne Beleuchtung, LED, Na-Dampflampe</i>	<i>32</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Tabellarische Darstellung der Versuchsdurchführung beginnend vom 02.04.-17.05.2013</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 3 ausgewählte Wetterdaten der Station Hohenheim (Augustenberg, 2012).....</i>	<i>44</i>

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
g	Gramm
kg	Kilogramm
KWh	Kilowattstunde
LED	light emitting diodes
m	Meter
m ²	Quadratmeter
nm	Nanometer
PAR	Photosynthetisch verfügbare Strahlung
SLA	specific leaf area
TM	Trockenmasse

2 Kurzfassung

Außenfaktoren wie Licht, Nährstoffe, Wasser und Temperatur haben Auswirkungen auf pflanzliches Wachstum. Strahlung ist ein entscheidender Faktor für die Photosynthese von Pflanzen. Inwieweit haben Lichtqualität und –quantität einen Einfluss auf Pflanzen? Unter Zuhilfenahme des schnellwachsenden Knöterichgewächses *Fallopia sachalinensis* war es innerhalb einer Versuchsdauer von 6 Wochen möglich, morphologische Veränderungen und Unterschiede in der Photosyntheseaktivität festzustellen. Neben einer Behandlung ohne zusätzliche Beleuchtung wurden eine Behandlung mit LED-Panel und eine Behandlung mit Na-Dampflampe aufgebaut. 27 Pflanzen wurden gleichmäßig auf die drei Behandlungen verteilt.

Assimilations- und Transpirationsraten wurden wöchentlich bestimmt, während die Anzahl und das Trockengewicht von Stängeln und Blättern nach 3 und nach 6 Wochen bestimmt wurden. Bei den destruktiven Probennahmen wurden weiterhin die Blattfläche und die Stängellänge erhoben.

Es konnten keine signifikanten morphologischen Unterschiede zwischen den Pflanzen der Behandlungen mit LED und mit Na-Dampflampe nachgewiesen werden. Einzig die Assimilationsrate unterschied sich signifikant zwischen diesen beiden Behandlungen. Wobei die Assimilationsrate im Durchschnitt bei Pflanzen unter LED höher war, als bei Pflanzen unter Na-Dampflampe.

3 Einleitung

3.1 Photosynthese

Die Photosynthese ist ein zentraler Prozess für Wachstum und Stoffkreisläufe. Durch die Reduktion energiearmer anorganischer Verbindungen werden durch absorbierte Strahlenenergie metastabile, energiereiche organische Verbindungen produziert (Weiler & Nover, 2008). Die Pflanze wandelt Wasser und Kohlenstoffdioxid mittels Licht in Sauerstoff und Kohlenhydrate ((CH₂O)_n) um. Dieser Prozess der Umwandlung findet in den Chloroplasten statt. Die Chloroplastenpigmente Chlorophyll und Carotin können Licht absorbieren. Dabei sind Chlorophyll a und b photosynthetisch aktiv. Die Photosynthese lässt sich in zwei Abschnitte unterteilen. Ein photochemischer Prozess, bei dem Wasser und Licht die limitierenden Faktoren sind und ein biochemischer Prozess, der Temperatur und CO₂ abhängig ist (Asch, 2013). Gemeinhin werden diese Prozesse Licht- und Dunkelreaktion genannt (Herm, 1978).

Der gebildete Sauerstoff stammt aus der Photolyse des Wassers. Dies bedeutet, dass Sauerstoff ohne Reduktion von Kohlenstoffdioxid gebildet wird. Ein Transfer von Elektronen entlang eines Gradienten, welcher durch die Photolyse des Wassers entsteht, ermöglicht die Lichtreaktion. Dabei werden Elektronen des Wassers durch die Anziehungskraft in den Reaktionszentren entzogen und Wasser wird gespalten. Dieser Vorgang ist nur in Anwesenheit von Licht möglich.

Allgemein kann gesagt werden, dass die lichtabhängige Reaktion chemische Energie in Form von ATP und Redox Co-Substraten für die nachfolgende lichtunabhängige Reaktion bereit stellt.

Nach dreimaligem Durchlaufen des lichtunabhängigen Calvin Zyklus entsteht ein Glycerinaldehyd-3-Phosphat (GAP). Stärkekörner werden als Produkt der Assimilation im Stroma eingelagert und können nach Bedarf investiert werden. (Asch, 2013)

Der Begriff Licht bezeichnet die für den Menschen sichtbare Wellenlänge von 390-750nm. Strahlung kann absorbiert werden, wenn die Energien von Quanten geeignet sind, um angeregte Elektronenübergänge zu ermöglichen (Weiler & Nover, 2008).

Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) bezeichnet vor allem blaues Licht, welches relativ energiereich und rotes Licht, welches relativ energiearm ist. Will man eine Energiebilanz aufstellen, gibt es neben dem absorbierten Licht der Pflanzen vier weitere Faktoren, die nach Sitte et al. (2002) Einfluss auf die Wirkungsstärke von Licht haben. Dazu zählt thermische Abstrahlung, photochemische Energiebindung, Transpiration von Wasser und Energieabgabe durch Wärmekonvektion. Reflektiertes und durchgelassenes Licht beeinflusst die Pflanzen jedoch nicht (Rünter, 1976).

Theodor Wilhelm Engelmann gelang es, die Bedeutung von Licht und Wellenlängen mittels einer Fadenalge zu veranschaulichen. Dabei beleuchtete er diese mit über ein Prisma gebrochenem Licht und konnte beobachten, dass sich aerobe Bakterien an den roten und blauen Bereichen des Prismas anlagert hatten. Dadurch konnte man das Aktionsspektrum der Fadenalge bestimmen, da sich an Orten hoher Sauerstoffproduktion sauerstoffliebende Bakterien bevorzugt aufhielten (**Abbildung 1a**). Die **Abbildung 1b** zeigt, dass Absorptionsrate und Photosyntheserate korrelieren. Dabei wird deutlich, dass photosynthetische Aktivität von Pflanzen in den Bereichen von 450nm und 680nm besonders hoch ist. Auffällig ist außerdem, dass der Kurvenverlauf dieses Absorptions- und Aktionsspektrums der Anlagerung von Bakterien im Versuch von Engelmann sehr ähnlich ist.

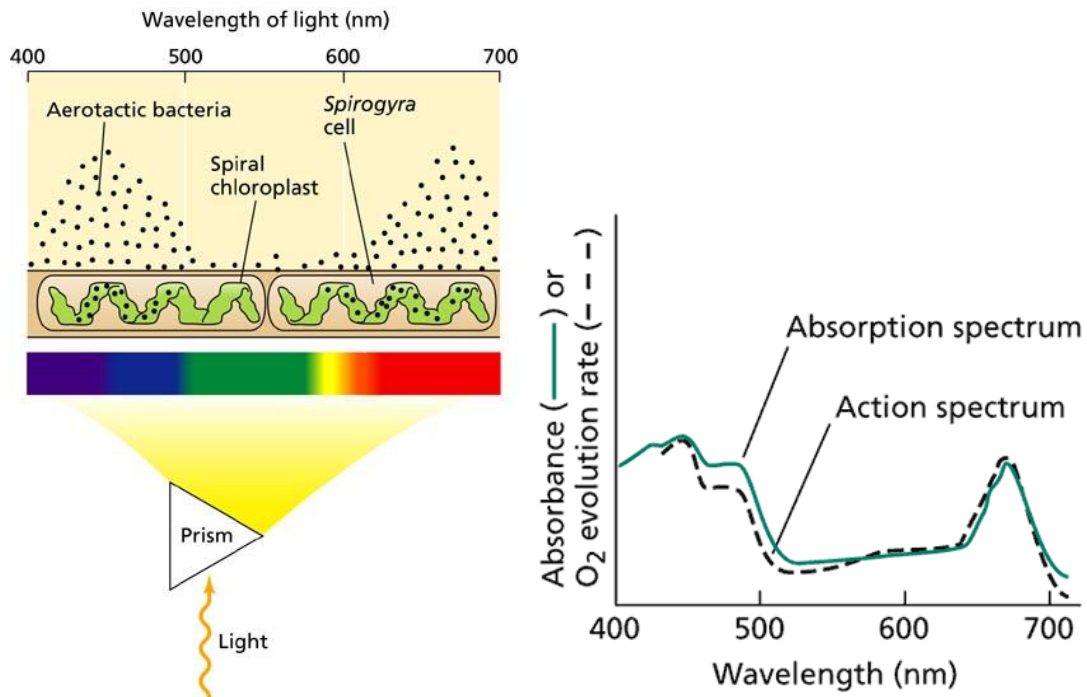


Abbildung 1a) Schematische Darstellung der Aktionsspektrum-Messungen von T. W. Engelmann (Taiz & Zeiger)

Abbildung 1b) Absorptions- und Aktionsspektrum von Pflanzen (Taiz & Zeiger)

3.2 *Fallopia sachalinensis*

Fallopia sachalinensis wird auch Russischer Staudenknöterich genannt und wird in Europa zu den invasiven Arten gezählt. Dieses Knöterich-Gewächs stammt wahrscheinlich von der zu Russland gehörenden Halbinsel Sachalin, und den japanischen Inseln Hokkaidō und Honshū ((Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2013). In Europa wurde *Fallopia* als Zierpflanze, zur Erosionsminderung oder als Futtermittel für Weidetiere eingeführt. *Fallopia* vermehrt sich überwiegend vegetativ über Rhizome und ist in der Umwelt sehr konkurrenzstark, robust und besitzt keine natürlichen Feinde. *Fallopia sachalinensis* ist ebenso wie *Fallopia japonica* häufig anzutreffen an feuchten und nährstoffreichen Standorten. Es entstehen hohe Kosten bei der Beseitigung von *Fallopia* an ungewünschten Standorten wie zum Beispiel in Auen oder entlang von Bachläufen. *Fallopia sachalinensis* ist deutlich weniger verbreitet als *Fallopia japonica*.

Fallopia wurde interessant als Energielieferant, da sie in kurzer Zeit hohe Biomasseerträge erreicht und bis zu zweimal jährlich genutzt werden kann (Wienert & Nerdel, 2011). Die Pflanze benötigt generell wenig Pflege und ist gegenüber abiotischen Einflüssen relativ tolerant. Pflanzenschutzmaßnahmen sind meist nicht notwendig, daher kann Fallopia desbezüglich relativ kostengünstig produziert werden. Bei dem Anbau von Fallopia erfolgt die erste Nutzung im zweiten oder dritten Jahr nach der Pflanzung. Der Brennwert liegt über dem von Mais und Miscanthus und ist vergleichbar mit Pappel und Weide.

Der Trockenmasseertrag von Fallopia beträgt nach Wienert & Nerdel (2011) 15,6–19,0t/ha. Im Vergleich dazu erreicht Mais einen Trockenmasseertrag von 12-20t/ha. Seppälä erhob im Jahr 2013 Daten wonach der Methanertrag von Fallopia bei 2300–4300m³ CH/ha und von Mais bei 8000–13000m³ CH/ha liegt.

Die Firma CONPOWER hat ISCUM Basic® entwickelt, eine Sorte, die als Energiepflanze vertrieben wird. Sie soll vor allem als Biogassubstrat oder als Hackschnitzel zur Verbrennung eingesetzt werden. Allerdings ist sie bei Landwirten nicht sehr beliebt, da sie sich ungehindert über den Feldrand hinweg verbreitet und in der Umwelt schlecht zu bekämpfen ist (Düchs, 2012). Geworben wird mit Fallopia als gute Alternative zu anderen Ackerfrüchten, die zur Energiegewinnung eingesetzt werden, da keine Diskussion bezüglich „Tank oder Teller“ aufkommt.

3.3 Versuchsplanung

Haben Lichtqualität und Lichtquantität von LEDs und Na-Dampflampe einen Einfluss auf Morphologie und physiologische Aktivität von Fallopia? Während die Na-Dampflampe Licht unterschiedlicher Wellenlängen abgibt, emittieren LED-Lampen quasi-monochromatisches Licht. Das im Versuch verwendete LED-Panel besaß ein 8-multispektral Farbspektrum unter anderem mit UV-LEDs (ultravioletten LEDs) und FR-LEDs (fernroten LEDs). Dieses Panel deckt somit alle Farbspektren ab, auf die Pflanzen besonders stark reagieren (spLED GmbH, 2013). Um dies zu überprüfen wurde ein Versuch, bestehend aus drei Behandlungen, aufgebaut. Neben der Behandlung ohne zusätzliche

Beleuchtung, wurden eine Na-Dampflampe und ein LED-Panel über jeweils einer Behandlung montiert. *Fallopia sachalinensis* wurde als Versuchspflanze ausgewählt, da sie schnellwüchsig ist und momentan als nachwachsender Rohstoff interessant wird.

Während der sechs Wochen des Versuchs wurden neben Messungen der Photosyntheserate, Daten über Blattfläche, Blattanzahl, Stängellänge, Stängelanzahl und Trockenmasse erhoben.

4 Material und Methoden

Der Versuch wurde vom 02.04.2013 bis 15.05.2013 an der Universität Hohenheim durchgeführt. 27 *Fallopia sachalinensis* Pflanzen wurden dafür während dieser Dauer im Gewächshaus des Institutes für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen untersucht.

4.1 Pflanzenmaterial

Eine Anzucht von Pflanzen war nicht notwendig, da die verwendeten Pflanzen bereits in anderen Versuchen genutzt wurden. Zur Vorbereitung auf den Versuch wurden die Fallopia-Pflanzen in runde, schwarze Kunststoffpflanztöpfe der Firma Adolf Burger GmbH (Renningen-Malmsheim) mit einem Volumen von 3 Litern, einem Durchmesser von 16,8cm und einer Höhe von 19,2cm umgetopft und die zuvor verwendete Erde abgewaschen.

4.2 Versuchsaufbau

Ein zweimaliger Rückschnitt auf 8cm und eine gleichmäßige Verteilung der Pflanzen, in 3 Behandlungen mit je 9 Pflanzen sollten ausgewogene Ausgangsbedingungen gewährleisten.

Zwischen den Behandlungen wurden Trennwände aufgestellt, die verhindern sollten, dass Licht einer Parzelle eine andere beeinflusste. Zur Kontrolle verblieb eine Behandlung ohne zusätzliche Beleuchtung. Über Pflanzen der zweiten Behandlung wurde ein LED-Panel montiert. Die eingebauten LEDs sind symmetrisch angeordnet. Eine Na-Dampflampe beleuchtete Pflanzen der letzten der drei Behandlungen (**Abbildung 2**).



Abbildung 2 Versuchsaufbau nach drei Wochen, von links nach rechts: ohne Beleuchtung, LED-Panel, Na-Dampfampe (eigene Darstellung)

Die Pflanzen wurden zentral unter der Lampe positioniert und wie in **Abbildung 3** dargestellt alle zwei Tage um eine Position verschoben. Da die Lichtkegel beider Lampen zu unterschiedlichen Lichtintensitäten innerhalb jeder Parzelle führten, war es notwendig durch Rotation vergleichbare Rahmenbedingung zu schaffen. Der Pflanztopf an Position 9 wurde an Position 1 gerückt. **Abbildung 4** zeigt den Versuchsaufbau nach 3 Wochen.

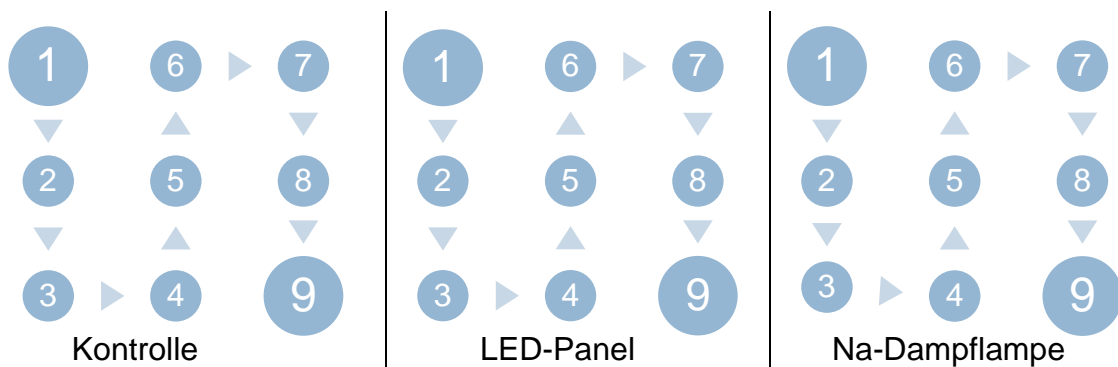


Abbildung 3 Versuchsaufbau: Behandlung ohne Lampe (links), Behandlung mit LED-Panel (Mitte), Behandlung mit Na-Dampfampe (rechts). Nummerierte Kreise stellen die Position der Pflanztöpfe und Pfeile die Positionsänderung dar

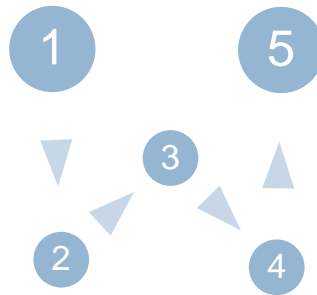


Abbildung 4 Versuchsaufbau nach drei Wochen. Nummerierte Kreise stellen die Position der Pflanztöpfe und Pfeile die Positionsänderung dar

4.3 Bewässerung und Düngung

Die Bewässerung erfolge gewöhnlich alle zwei Tage. Die Wassermenge betrug ca. 250ml, wurde jedoch nach Bedarf variiert. Die individuelle Wassergabe, je nach Witterung und Entwicklungsstand, ermöglichte eine optimale Bewässerung. Eine Düngung wurde nicht durchgeführt, da die Pflanzen zu Beginn des Versuchs umgetopft worden sind und somit eine ausreichende Nährstoffversorgung gewährleistet war. Um Staunässe zu verhindern, wurden Töpfe mit Löchern im Topfboden verwendet.

4.4 Beleuchtung

Neben der Behandlung ohne zusätzliche Beleuchtung wurde über der zweiten Behandlung ein LED-Panel der Serie white 120 – 360 der Firma spLED GmbH mit 8-multispektral Farbspektrum mit UV-LEDs (ultravioletten LEDs) und FR-LEDs (fernrote LEDs) montiert (**Abbildung 6**). Eine Hochdruck-Na-Dampflampe der Serie SON-T 400W/220 E40 1SL von Philips wurde über der letzten Behandlung angebracht. **Abbildung 5** zeigt die photometrischen Daten der verwendeten Na-Dampflampe.

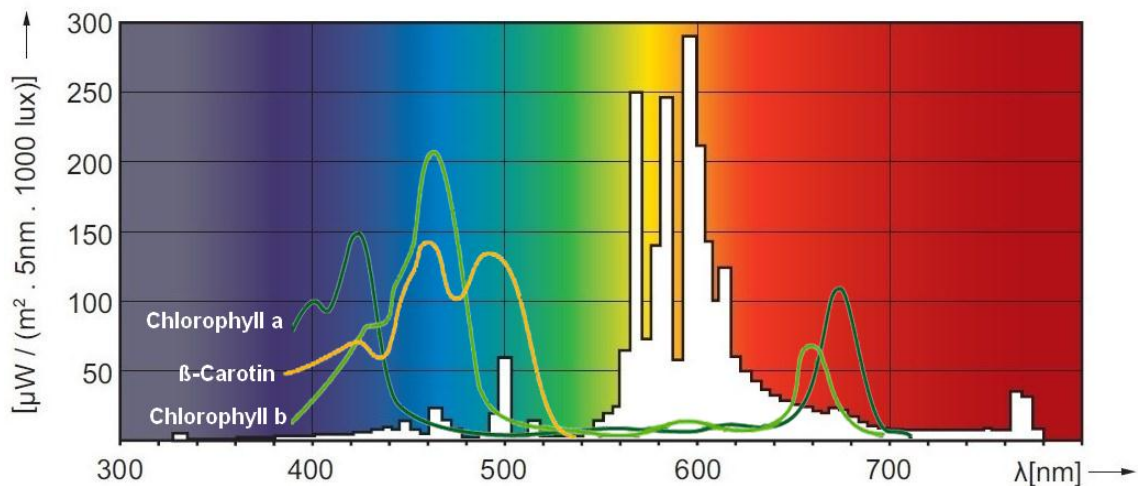


Abbildung 5 Photometrische Daten der Na-Dampfampe SON-T 400W/220 E40 1SL (Philips ©).
Wirkungsspektrum von Chlorophyll a und b und β-Carotin

Die verwendete Na-Dampfampe emittiert hauptsächlich Strahlung im Bereich von 560-620 λ [nm], welche mit dem Wirkungsspektrum aus **Abbildung 5** von Chlorophyll und Carotinoiden nicht deckungsgleich ist. Rotes und blaues Licht gehören zur photosynthetisch aktiven Strahlung.

Die verwendete LED-Lampe emittiert vor allem Strahlung im photosynthetisch aktiven Spektrum von Chlorophyll und Carotinoiden und unter anderem hohe Anteile von Rot- und Blaulicht, sodass sich das Lichtspektrum aus **Abbildung 6** überwiegend mit dem Photosynthespektrum deckt.

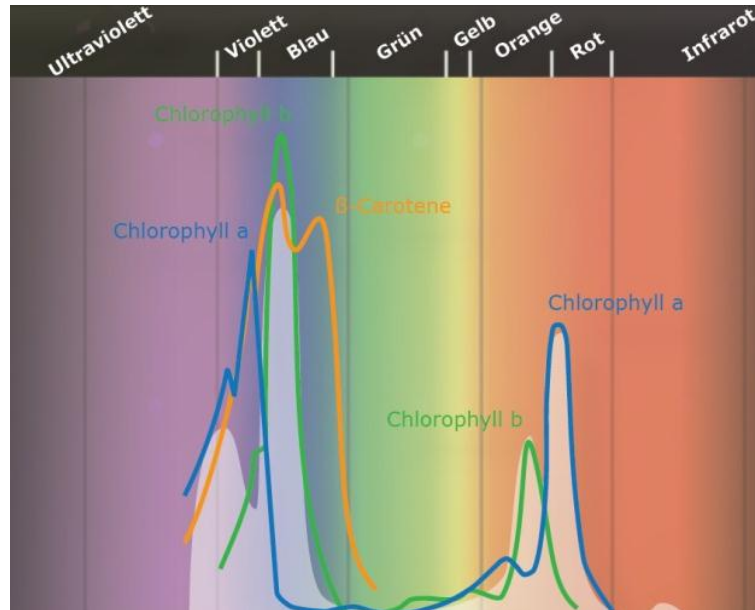


Abbildung 6 Lichtspektrum (weiße Kurve) einer BloomPower black360 LED-Lampe eingetragen in ein Photosynthesespektrum (spLED GmbH ©)

Um den Einfluss von Tageslicht auszuschließen, wurden nachts mit einem Lichtmessgerät (Meteon, Irradiance Meter, Kipp & Zonen) die Strahlungsintensitäten der beiden künstlichen Lichtquellen ermittelt (**Abbildung 7**). Die Lichtintensität wurde in 41cm Höhe (19cm Topfhöhe + 22cm Wuchshöhe) erhoben, da dies der Höhe des Pflanzenbestandes nach 6 Wochen entsprach. Eine Messung in 27cm Höhe (19cm Topfhöhe + 8cm Wuchshöhe) bezog sich auf die Anfangssituation zu Beginn des Versuches.

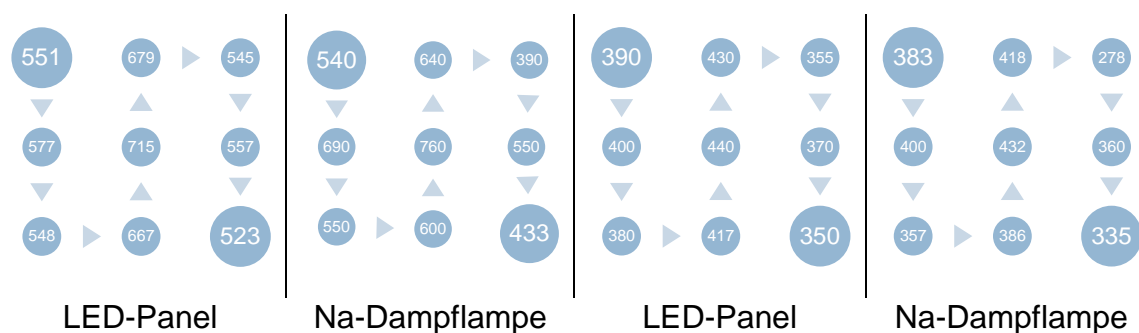


Abbildung 7 Gemessene Lichtintensitäten PAR [$\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$] an den Standpunkten der Töpfe unter der Beleuchtung durch LED und Na-Dampflampe. 2*links in 41cm Höhe. 2*rechts in 27cm Höhe

Dabei war auffällig, dass die LED-Lampe das Licht mehr gestreut hat. Die Werte der LED-Lampe waren am Rand höher verglichen mit den Werten der Na-Dampflampe. Die Ergebnisse des LED-Panels zeigten, dass die

Lichtintensitäten zum Fenster hin und davon fort, höher waren als seitlich. Da das Leuchtmittel der Na-Dampfampe nicht symmetrisch angeordnet ist, war die Strahlung nicht gleichmäßig verteilt. Bei einer Messung in einer Entfernung von 30cm zum Versuchsaufbau ergaben sich folgende Werte: 115 PAR [$\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$] für das LED-Panel, 20 PAR [$\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$] für die Na-Dampfampe. Bei der Montage der beiden Leuchten wurde darauf geachtet, dass die Lichtintensitäten in der Mitte des Versuchsfeldes zu Beginn des Versuchs bei LED und Na-Dampfampe gleichwertig waren.

Da eine Messung von Lichtintensitäten der Behandlung ohne Beleuchtung auf diese Weise nicht sinnvoll wäre, wurden Wetterdaten der Station Hohenheim hinzugezogen (siehe Anhang Tabelle 2, rot markierte Zeilen beziehen sich auf Tage, an denen mit dem LCI gemessen worden ist). Bezüglich des Lichteinfalls ist zu sagen, dass die Lichtintensität in Fensternähe die höchsten Werte annahm und Richtung Abtrennung stetig geringer wurde.

4.5 Kulturbedingungen

Abbildung 8 und **Abbildung 9** zeigen Temperatur und relative Luftfeuchte im Gewächshaus während der Versuchsdauer. Die Witterungsbedingungen hatten direkten Einfluss auf die Ergebnisse der Pflanzen der Behandlung ohne Lampe. Beeinflusst wurden allerdings auch die Pflanzen der beleuchteten Behandlungen, da diese nur seitlich abgetrennt waren, sodass auch natürliches Licht einfallen konnte

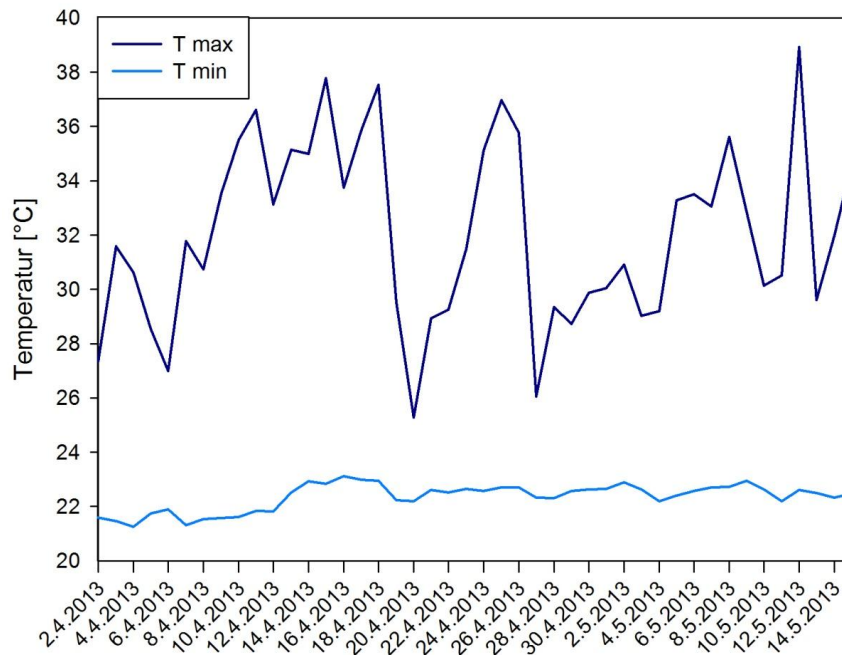


Abbildung 8 Temperatur im Gewächshaus während der Versuchsdauer vom 02.04.2013-14.05.2013 (TT.MM.JJJJ)

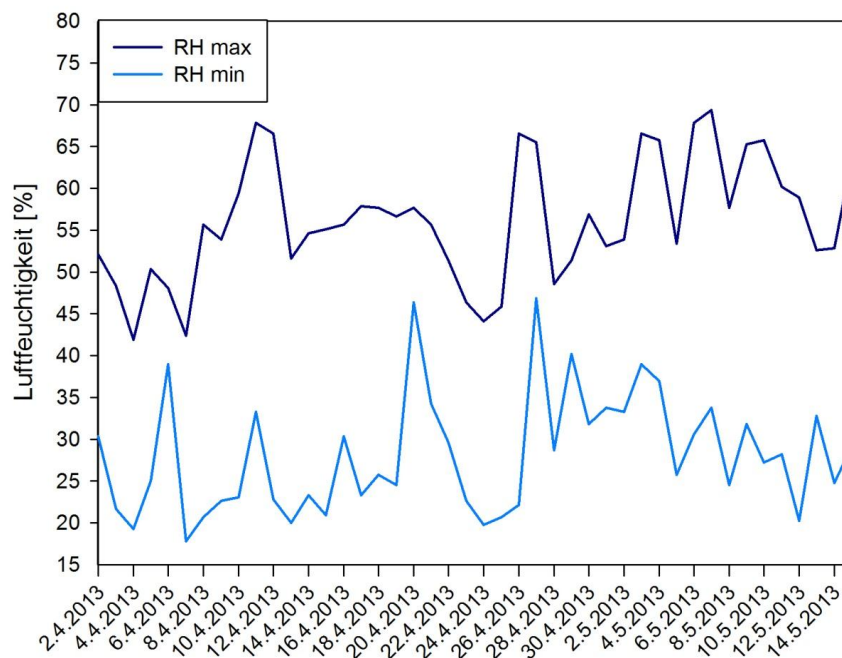


Abbildung 9 Relative Luftfeuchte im Gewächshaus während der Versuchsdauer vom 02.04.2013-14.05.2013 (TT.MM.JJJJ)

4.6 Probenahme

Am 02.04.2013 begann der Versuch mit dem Versuchsaufbau und dem Einschalten der Beleuchtung. Mit einem LCi-SD Photosynthesis System (Bio Scientific Ltd., Firmensitz in England), wurden nach Ende der ersten Woche, Transpirations- und Assimilationsraten gemessen. Diese Messung erfolgte wöchentlich dienstags ab 11 Uhr. Um den Tagesgang der Sonne zu berücksichtigen, wurden zuerst jeweils drei Pflanzen pro Behandlung gemessen.

Zur Messung mit dem LCi wurde jeweils das zweite voll entfaltete Blatt herangezogen. Messwerte wurden von zwei Blättern pro Pflanze genommen. Der Ablauf des Versuchs ist in **Tabelle 1** protokolliert.

Tabelle 1 Tabellarische Darstellung der Versuchsdurchführung beginnend vom 02.04.-17.05.2013

Datum	Durchführung
02.04.2013	Beginn des Versuchs
09.04.2013	LCi-Messung
16.04.2013	LCi-Messung
23.04.2013	LCi-Messung
25.04.2013	destruktive Probenahme
30.04.2013	LCi-Messung
02.05.2013	Wiegen der Biomasse
07.05.2013	LCi-Messung
14.05.2013	LCi-Messung
15.05.2013	destruktive Probenahme
17.05.2013	Wiegen der Biomasse

Nach drei Wochen erfolgte die Messung der morphologischen Veränderungen. Hierzu wurden vier der neun Pflanzen pro Behandlung verwendet. Wuchshöhe,

Länge und Anzahl der Stängel pro Pflanze wurden festgehalten und die Blattfläche durch ein Li-3000G Portable Area Meter der Firma Li-COR® (Firmensitz in den USA) ermittelt. Hierzu wurden, nach Festlegung der Wuchshöhe, die Stängel an der Basis knapp oberhalb des Bodens abgeschnitten und Blätter vom Stängel entfernt. Größe des Blattes, als auch Länge, Breite und Anzahl wurden mit dem Li-3000G gemessen.

Blätter und Stängel wurden anschließend separat gelagert und im Trockenschrank bei 60°C getrocknet, um daraufhin die oberirdische Trockenmasse getrennt nach Stängeln und Blättern zu bestimmen.

Nach der ersten Blattflächenmessung wurden die entsprechenden Pflanzen aus dem Versuchsaufbau entfernt und die verbliebenen Pflanzen, wie in **Abbildung 4** dargestellt, positioniert und verschoben. Nach sechs Wochen erfolgte die zweite Probenahme mit den verbliebenen Pflanzen.

4.7 Auswertung

Die gesammelten Daten wurden mit EXCEL ausgewertet und sortiert. Die erstellten Diagramme enthalten Mittelwerte und Fehlerindikatoren ($SE = \text{STABW} / \sqrt{4}$), sowie die Buchstabendarstellung für Varianzanalysen. Es wurden einfaktorielle und zweifaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) mit dem Programm STATISTICA durchgeführt und mittels eines Fisher-LSD Tests ausgewertet. Wurden bei den Vergleichen zwischen den beiden Probenahmen und zwischen den drei Behandlungen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) festgestellt, wurden diese durch die entsprechende Buchstabendarstellung in den Diagrammen erkenntlich gemacht. Dabei stehen kleine Buchstaben für den Vergleich zwischen den Probenahmen 1 und 2 und Großbuchstaben für Vergleiche zwischen Pflanzen der Behandlungen ohne Lampe, LED und Na-Dampflampe. Die aufgeführten Diagramme wurden mit SIGMAPLOT erstellt.

5 Ergebnisse

5.1 Morphologische Veränderungen

In **Abbildung 10** wird die mittlere Blattanzahl von Fallopia unter den Beleuchtungen durch LED und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen dargestellt. Während der Versuchsdauer nahm die mittlere Blattanzahl bei Pflanzen, die unter LED-Beleuchtung gewachsen waren, ab. Bei der Behandlung mit Na-Dampflampe und bei der Behandlung ohne zusätzliches Licht nahm die mittlere Blattanzahl der Pflanzen zu. Bei den drei Behandlungen waren die mittleren Blattanzahlen der Pflanzen bei Probenahme 1 und Probenahme 2 nicht signifikant verschieden.

Die Pflanzen hatten nach 3 Wochen Beleuchtung durch die Na-Dampflampe 98 Blätter ausgebildet. Bei der Behandlung unter LEDs hatten die Pflanzen im Durchschnitt, mit 158, die meisten Blätter und Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung, mit 84 Blättern, die wenigsten Blätter gebildet. Bezüglich der mittleren Blattanzahl bestanden signifikante Unterschiede bei den Pflanzen der Behandlungen mit LED und ohne Lampe.

Bei Probenahme 2 wurde ermittelt, dass Pflanzen unter Na-Dampflampe 107 Blätter, unter LED 124 Blätter und ohne Beleuchtung 108 Blätter gebildet hatten. Die mittleren Blattanzahlen der Pflanzen bei den drei Behandlungen waren nach 6 Wochen nicht signifikant verschieden.

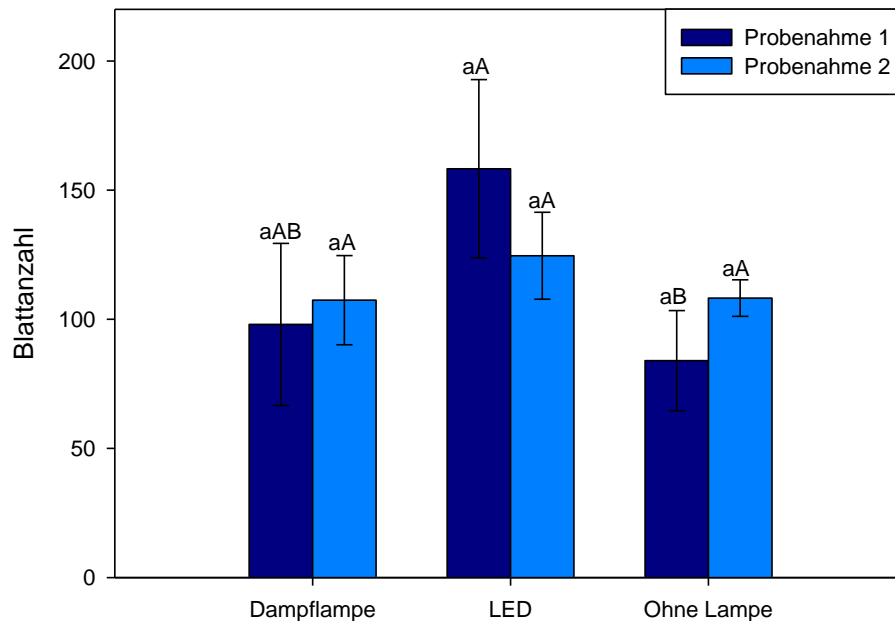


Abbildung 10 Mittlere Blattanzahl von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen am 25.4.2013 und 15.5.2013; kleine Buchstaben: Probenahmen, große Buchstaben: Beleuchtungen

Die mittlere Blattfläche von Fallopia nahm bei allen Behandlungen vom 25.4.2013 bis 15.5.2013 zu.

Die mittleren Blattflächen der Pflanzen der Behandlung mit LED und der Pflanzen der Behandlung ohne Lampe waren bei Probenahmen 1 und 2 allerdings nicht signifikant verschieden (Abbildung 11). Es bestand ein signifikanter Unterschied der Blattflächen zwischen Probenahme 1 und 2 bei den Pflanzen unter Na-Dampflampe.

Die ermittelte mittlere Blattfläche der Pflanzen bei Behandlung mit Na-Dampflampe lag bei der ersten Probenahme bei 1316cm^2 , mit LED bei 1907cm^2 und ohne Beleuchtung bei 1595cm^2 . Somit hatten die Pflanzen nach 3 Wochen unter LED die größte und unter Na-Dampflampe die geringste Blattfläche ausgebildet. Die mittlere Blattfläche von Fallopia unter Na-Dampflampe und unter LED war bei der ersten Probenahme signifikant verschieden.

Bei der zweiten Probenahme ergaben sich für die Pflanzen der Behandlung mit Na-Dampflampe eine mittlere Blattfläche von 2240cm^2 . Die Pflanzen, die unter LEDs gewachsen waren, erreichten nach 6 Wochen eine Blattfläche von 2378cm^2 und Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung eine mittlere Blattfläche von 2120cm^2 . Demnach ist die Blattfläche der Pflanzen nach 6 Wochen unter LED-Lampe am größten und ohne zusätzlich Beleuchtung am geringsten. Die mittlere Blattfläche von Fallopia war zwischen den drei Behandlungen bei der zweiten Probenahme nicht signifikant verschieden.

Die durchschnittliche Blattgröße betrug bei der ersten Probenahme bei Pflanzen unter Na-Dampflampe $13,43\text{cm}^2$, unter LED-Lampe $12,06\text{cm}^2$ und ohne zusätzliche Beleuchtung $18,99\text{cm}^2$. Dabei zeigte sich, dass die Blätter der Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet worden sind, im Durchschnitt deutlich größer waren als die, der Pflanzen, die beleuchtet wurden. Dieser deutliche Unterschied war bei der zweiten Probenahme nicht mehr erkennbar. Die durchschnittliche Blattgröße der Pflanzen unter Na-Dampflampe betrug $20,88\text{cm}^2$, unter LED $19,09\text{cm}^2$ und ohne zusätzliche Beleuchtung $19,60\text{cm}^2$.

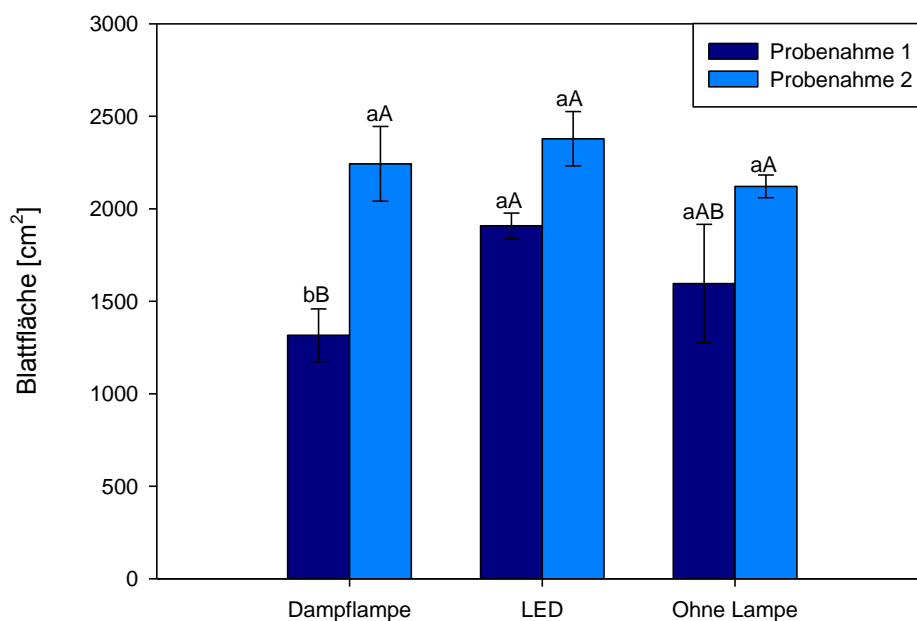


Abbildung 11 Mittlere Blattfläche in cm^2 von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen am 25.4.2013 und 15.5.2013; kleine Buchstaben: Probenahmen, große Buchstaben: Beleuchtungen

Nach Erhebung der Blattflächen und Trocknung wurden die in **Abbildung 12** dargestellten durchschnittlichen Blatttrockenmassen der Proben ermittelt. Die mittleren Blatttrockenmassen von Fallopia nahmen bei den drei Behandlungen vom 25.4.2013 bis 15.5.2013 deutlich zu. Dabei zeigte sich, dass bei allen Behandlungen die durchschnittliche Blatttrockenmasse der Pflanzen bei Probenahme 1 und 2 signifikant verschieden war.

Die Blatttrockenmasse einer Pflanze unter Na-Dampflampe lag im Mittel bei der ersten Probenahme bei 4,3g. Die durchschnittliche Blatttrockenmasse einer Pflanze unter LED-Beleuchtung betrug 5,7g. Eine Pflanze ohne zusätzliche Beleuchtung erzielte im Mittel ein Blatttrockenmasse von 3,6g. Der Unterschied der Blatttrockenmasse war zwischen Pflanzen der Behandlung mit LED und den Pflanzen der Behandlung ohne Lampe bei der ersten Probenahme signifikant verschieden.

Bei der zweiten Probenahme ergab sich für Pflanzen unter Na-Dampflampe eine mittlere Blatttrockenmasse von 9g. Bei der LED-Behandlung betrug die Blatttrockenmasse der Pflanzen im Durchschnitt 10g und bei Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung 5,7g. Bei der zweiten Probenahme waren die Blatttrockenmassen der Pflanzen bei den Behandlungen mit LED und Na-Dampflampe signifikant größer als bei Pflanzen der Behandlung ohne Lampe.

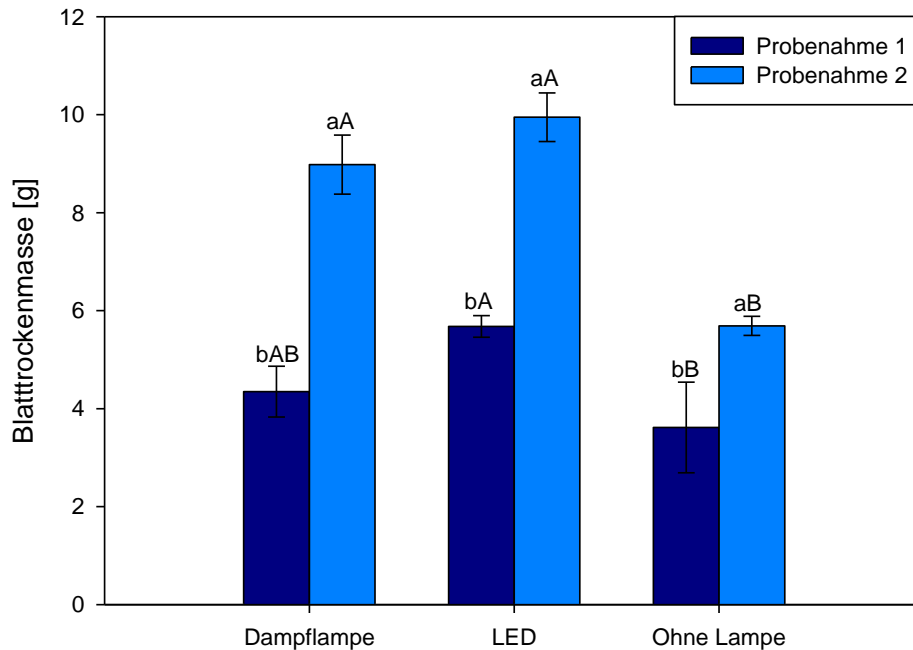


Abbildung 12 Mittlere Blatttrockenmasse in g von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen am 25.4.2013 und 15.5.2013; kleine Buchstaben: Probenahmen, große Buchstaben: Beleuchtungen

SLA (specific leaf area) bezeichnet die spezifische Blattfläche, die in m^2 Blattfläche pro kg Blatttrockengewicht angegeben wird.

Abbildung 13 zeigt die spezifische Blattfläche von Fallopia unter den Beleuchtungen durch LED und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen. Während der Versuchsdauer nahm die spezifische Blattfläche bei Pflanzen der drei Behandlungen ab. Bei einem Vergleich von Probenahme 1 und 2 bezüglich der SLA, ergaben sich bei Pflanzen aller Behandlungen signifikante Unterschiede. Dabei war die Abnahme der SLA bei Pflanzen unter LED und ohne zusätzliche Beleuchtung von Probenahme 1 zu 2 etwa gleich groß und von Pflanzen unter Na-Dampflampe am geringsten.

Die Pflanzen hatten nach 3 Wochen Beleuchtung durch die Na-Dampflampe eine spezifische Blattfläche von $30,7\text{m}^2/\text{kg}$, durch LEDs $33,7\text{m}^2/\text{kg}$ und Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung $46,3\text{m}^2/\text{kg}$ entwickelt. Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden, hatten im Durchschnitt den größten SLA und

Pflanzen unter Na-Dampflampe den kleinsten SLA. Es bestand ein signifikanter Unterschied bei den Pflanzen der Behandlungen mit LED und Na-Dampflampe gegenüber den Pflanzen der Behandlung ohne Lampe bezogen auf die spezifische Blattfläche bei der ersten Probenahme.

Bei Probenahme 2 wurde ermittelt, dass Pflanzen unter Na-Dampflampe einen SLA von $24,9\text{m}^2/\text{kg}$, unter LED $24\text{m}^2/\text{kg}$ und ohne zusätzliche Beleuchtung $37\text{m}^2/\text{kg}$, gebildet hatten. Es bestand ein signifikanter Unterschied bei den Pflanzen der Behandlungen mit LED und Na-Dampflampe gegenüber den Pflanzen der Behandlung ohne Lampe bezogen auf die spezifische Blattfläche bei der zweiten Probenahme. Der SLA von Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden, war deutlich größer als bei den Pflanzen, die unter den beiden Beleuchtungen gewachsen waren.

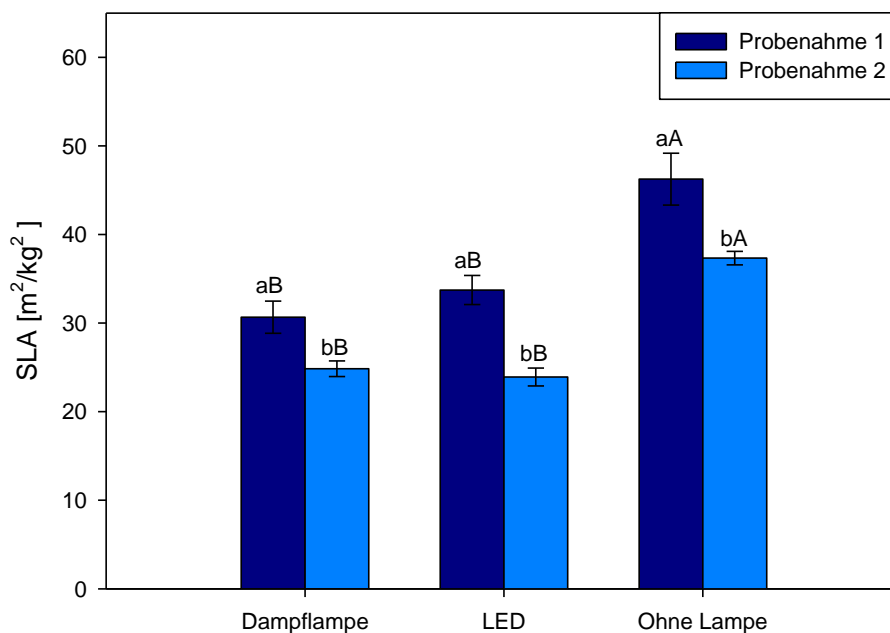


Abbildung 13 Mittlere Spezifische Blattfläche in m^2/kg von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen am 25.4.2013 und 15.5.2013; kleine Buchstaben: Probenahmen, große Buchstaben: Beleuchtung

Abbildung 14 zeigt die mittlere Stängelanzahl von Fallopia unter den Beleuchtungen durch LED und Na-Dampflampe und ohne zusätzliche

Beleuchtung. Während der Versuchsdauer nahm die Stängelanzahl von Probenahme 1 zu 2 bei Pflanzen unter LED und Na-Dampflampe ab und bei Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung zu. Bei Pflanzen der drei Behandlungen war die Stängelanzahl im Vergleich von Probenahme 1 und 2 nicht signifikant verschieden.

Die Pflanzen hatten nach 3 Wochen Beleuchtung durch die Na-Dampflampe 12,75, unter LED 11,4 und ohne zusätzliche Beleuchtung 11 Stängel gebildet. Es bestand kein signifikanter Unterschied der Stängelanzahl zwischen Pflanzen der drei Behandlungen bei der ersten Probenahme.

Bei der zweiten Probenahme ergab sich für Pflanzen der Behandlung mit Na-Dampflampe eine mittlere Stängelanzahl von 8,8. Bei der Behandlung mit LED bildeten sich im Durchschnitt 18,5 Stängel und bei Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden, wurde eine mittlere Stängelanzahl von 14 erhoben. Die Stängelanzahl von Fallopia unterschied sich bei der zweiten Probenahme zwischen den drei Behandlungen nicht signifikant.

Bei Probenahme 1 zeigte sich, dass die Pflanzen ohne Beleuchtung weniger Stängel gebildet hatten als die, der anderen Behandlungen, diese dafür aber länger wurden (**Abbildung 15**). Bei LED-Beleuchtung wurden viele kürzere Stängel gebildet. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse nach der zweiten Ernte. Während die Pflanzen bei Probenahme 2 unter Na-Dampflampe wenige dafür längere Stängel ausgebildet hatten, entwickelten sich zum Beispiel bei der Variante ohne zusätzliche Beleuchtung viele, aber kürzere Stängel.

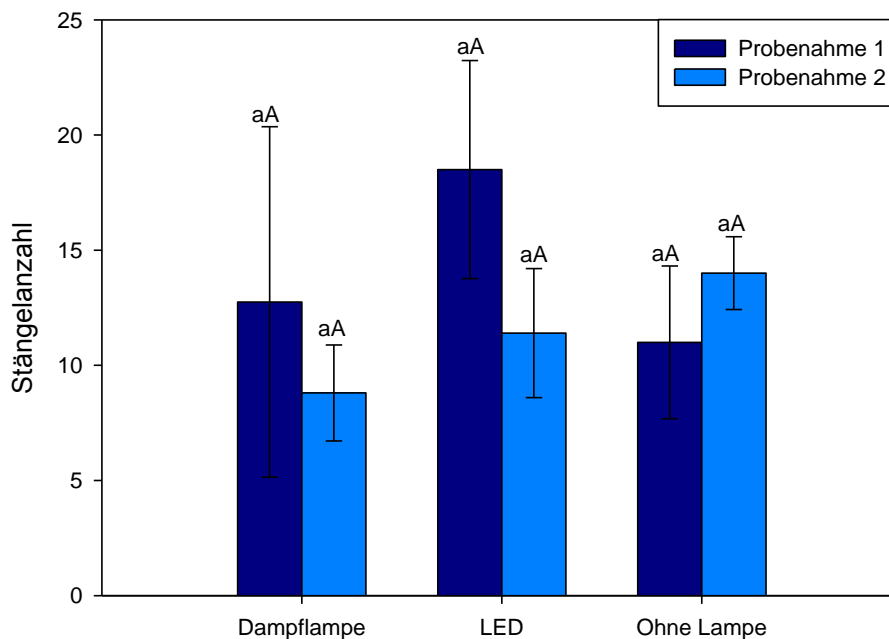


Abbildung 14 Mittlere Stängelanzahl von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen am 25.4.2013 und 15.5.2013; kleine Buchstaben: Probenahmen, große Buchstaben: Beleuchtungen

Abbildung 15 zeigt die Stängellänge der Pflanzen der Behandlungen mit Na-Dampflampe, LED und ohne Lampe. Bei Pflanzen der Behandlungen mit Na-Dampflampe und mit LED nahm die Stängellänge von Probenahme 1 zu Probenahme 2 zu, während die Stängellänge bei Pflanzen der Behandlung ohne Lampe im Verhältnis zur ersten Probenahme abnahm. Die Zunahme der Stängellänge war bei Pflanzen der Behandlung mit LED am höchsten. Diese Zunahme von Probenahme 1 zu 2 war signifikant.

Die durchschnittliche Länge der Stängel bei Pflanzen der Beleuchtung mit Na-Dampflampe lag bei der ersten Probenahme bei 20,7cm, bei LED-Beleuchtung bei 16cm und ohne Beleuchtung bei 24,5cm. Diese Unterschiede zwischen den Behandlungen waren jedoch nicht signifikant.

Bei den zweiten Probenahmen ergaben sich für Pflanzen der Behandlung mit Na-Dampflampe eine mittlere Stängellänge von 28,5cm. Unter LEDs gewachsene Pflanzen hatten eine mittlere Stängellänge von 25,5cm und

Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden, hatten eine mittlere Stängellänge von 22,5cm. Diese Unterschiede zwischen den Behandlungen waren ebenfalls nicht signifikant.

Umgekehrt wie bei der Stängelanzahl ist auffällig, dass die Stängellänge bei den Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung zwischen den Probenahmen 1 und 2 abgenommen hat, während sie bei Pflanzen unter der Na-Dampflampe bzw. bei Pflanzen unter LED-Beleuchtung zugenommen hat. Nach drei Wochen waren die Stängel der Pflanzen aus der Behandlung ohne Lampe am längsten, wohingegen die Pflanzen in der Behandlung ohne Lampe nach sechs Wochen die kürzesten Stängel gebildet hatten.

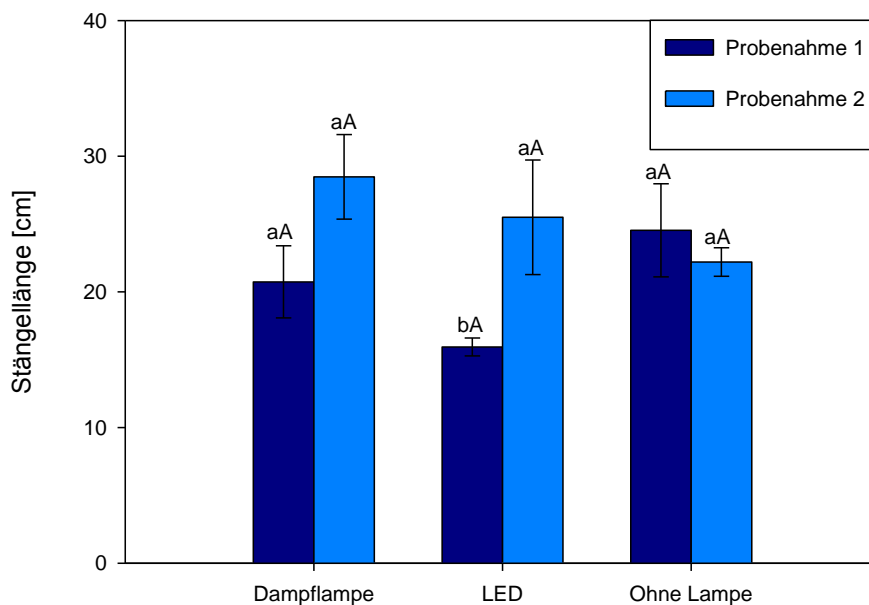


Abbildung 15 Mittlere Stängellänge in cm von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen am 25.4.2013 und 15.5.2013; kleine Buchstaben: Probenahmen, große Buchstaben: Beleuchtungen

Abbildung 16 zeigt die durchschnittliche Stängeltrockenmasse der Pflanzen der Behandlungen mit Na-Dampflampe, mit LED und ohne Lampe. Bei allen Behandlungen nahm die Stängeltrockenmasse von Fallopia zu. Der Stängeltrockenmassezuwachs war bei den Pflanzen unter Na-Dampflampe am höchsten und bei Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden, am

geringsten. Zwischen Probenahmen 1 und 2 ergaben sich für Pflanzen der Behandlungen LED und Na-Dampflampe bezüglich der Stängelrockenmasse signifikante Unterschiede.

Die mittlere Stängelrockenmasse der mit der Na-Dampflampe beleuchteten Pflanzen lag bei den ersten Probenahmen bei 3g. Pflanzen unter LED-Beleuchtung hatten eine durchschnittliche Stängelrockenmasse von 4,2g gebildet. Die Stängelrockenmasse von Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung erreichte im Mittel 2,75g. Somit hatten Pflanzen unter LED die meiste und Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung die geringste Stängelrockenmasse gebildet. Dieser Unterschied war signifikant.

Bei der zweiten Probenahme ergab sich für Pflanzen der Behandlung mit Na-Dampflampe eine mittlere Stängelrockenmasse von 5,5g. 6,2g betrug die durchschnittliche Stängelrockenmasse von Pflanzen der LED-Behandlung. Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung erreichten ein mittleres Stängelrockengewicht von 4g. Auch bei der zweiten Probenahme hatten Pflanzen unter LED die meiste und Pflanzen aus der Behandlung ohne Lampe die geringste Stängelrockenmasse gebildet. Bei der zweiten Probenahme war die mittlere Stängelrockenmasse von Pflanzen der Behandlungen LED und Na-Dampflampe gegenüber den Pflanzen der Behandlung ohne Lampe signifikant verschieden.

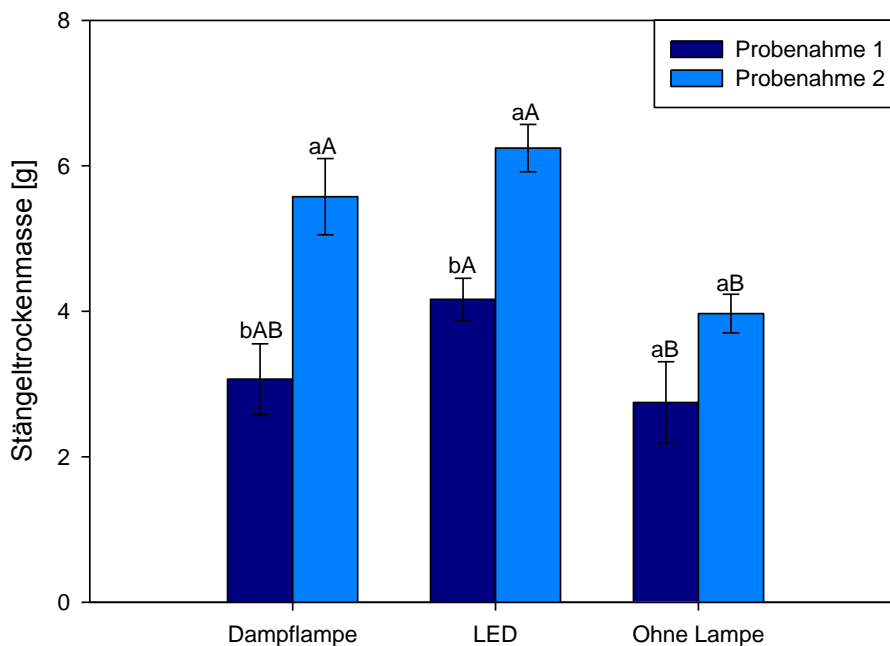


Abbildung 16 Mittlere Stängelrockenmasse in g von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen am 25.4.2013 und 15.5.2013; kleine Buchstaben: Probenahmen, große Buchstaben: Beleuchtungen

5.2 Photosynthetische Aktivität

Abbildung 17 zeigt die Assimilationsraten in $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ von Fallopia unter den Behandlungen LED, Na-Dampflampe und ohne Lampe während des Zeitraums vom 09.04.2013-14.05.2013. Während den wöchentlichen Messungen mit dem LCI zeigte sich, dass die Pflanzen in der Parzelle mit LED die höchsten und die Pflanzen ohne Beleuchtung die geringsten Assimilationsraten aufwiesen. Die Assimilationsrate von Pflanzen der LED-Behandlung lag im Mittel über den gesamten Versuchsaufbau bei $15,5\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$. Während die durchschnittliche Assimilationsrate von Pflanzen der Behandlung mit Na-Dampflampe $9,8\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ betrug, wurden ohne zusätzliche Beleuchtung Mittelwerte von $6,5\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ erzielt. Die Assimilationsrate der Pflanzen unter LED war gegenüber der Assimilationsrate der Pflanzen in den Behandlungen mit Na-Dampflampe und ohne Lampe signifikant verschieden.

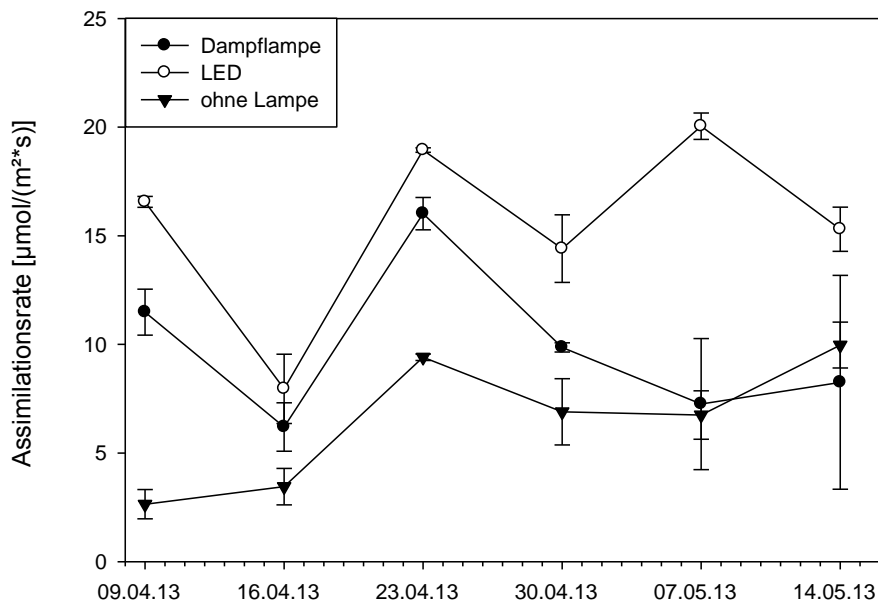


Abbildung 17 Mittlere Assimilationsrate in $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ von *Fallopia* unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen zwischen 9.4.2013 und 14.5.2013

Abbildung 18 zeigt die wöchentlich erhobenen Transpirationsraten in $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ von *Fallopia* unter den Behandlungen LED, Na-Dampflampe und ohne Lampe. Die Pflanzen der drei Behandlungen unterschieden sich nicht signifikant in ihrer Transpirationsrate. Die gemessenen Werte lagen im Mittel über den gesamten Behandlungszeitraum hinweg bei Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung bei $5,04 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, unter Na-Dampflampe bei $5,09 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ und unter LED-Beleuchtung bei $6,1 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$.

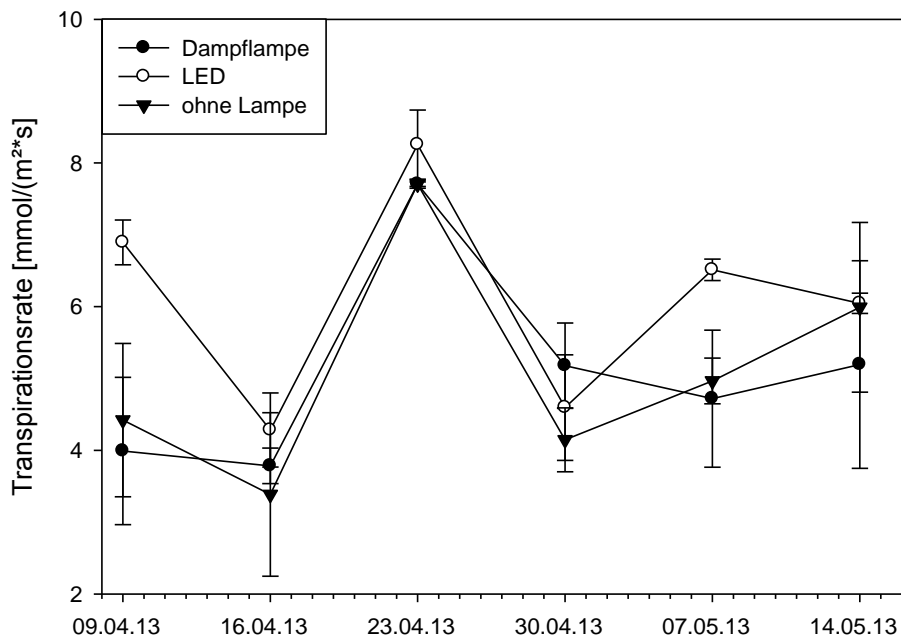


Abbildung 18 Mittlere Transpirationsrate in $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen zwischen 9.4.2013 und 14.5.2013

Abbildung 18 zeigt die wöchentlich erhobene stomatäre Leitfähigkeit in $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ von Fallopia der Behandlungen LED, Na-Dampflampe und ohne Lampe während des Zeitraums vom 09.4.2013-14.5.2013. Die stomatäre Leitfähigkeit betrug im Mittel für Pflanzen der Behandlung mit Na-Dampflampe $0,54 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ und bei Pflanzen unter LED-Lampe $0,88 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung erreichten im Durchschnitt eine stomatäre Leitfähigkeit von $0,51 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Zwischen den der Pflanzen der drei Behandlungen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezogen auf die stomatäre Leitfähigkeit.

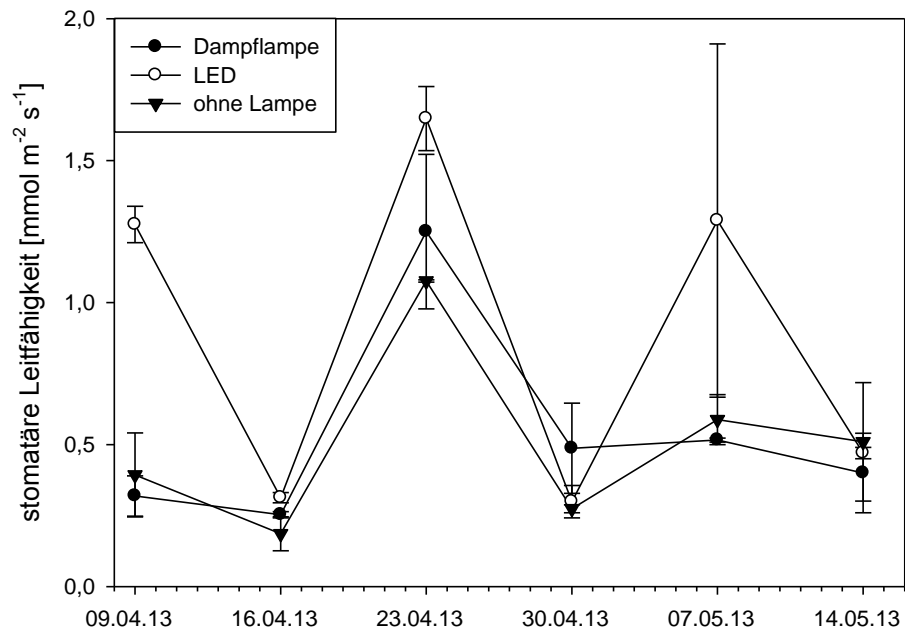


Abbildung 19 Mittlere stomtäre Leitfähigkeit in $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ von Fallopia unter Beleuchtung durch LEDs und Na-Dampflampe bzw. bei ambienten Lichtbedingungen gemessen zwischen 9.4.2013 und 14.5.2013

6 Diskussion

6.1 Morphologische Veränderungen

Tropismus bezeichnet die Reaktion von Wurzeln, Sprossachse und Blättern gegenüber externen Reizen (Nabors, 2007). Rotes Licht kann nach Rünger (1976) die Ausbreitung der Blätter beeinflussen, während blaues Licht eher das Richtungswachstum bestimmt. Dabei wird die Reaktionsart auf Licht, bei der das Wachstum zum Licht und oder davon weg, Phototropismus genannt. Blaues Licht kann die Wirkung haben, dass sich die Sprossachse zum Licht hinwendet (Nabors, 2007).

Abbildung 20 und **Abbildung 21** zeigen den Habitus je einer Pflanze aus den Behandlungen ohne zusätzliche Beleuchtung, mit LED-Panel und mit Na-Dampflampe. Deutlich wird, dass die Pflanze ohne zusätzliche Beleuchtung aufrecht (orthotrop) und die Pflanze mit LED-Beleuchtung eher waagrecht bzw. schräg (plagiotrop) gewachsen war. Die Pflanzen unter Na-Dampflampe wuchsen aufrecht und bildeten Stängel die zur Seite wuchsen.

Islam et al. (2012) beschreiben, dass der Einfluss von LEDs (20% Blauanteil, 80% Rotanteil) auf poinsettias sich darin äußerte, dass Pflanzen 20-30% kleiner waren als unter einer Hochdruck-Na-Dampflampe gewachsenen Pflanzen.



Abbildung 20 Morphologische Veränderungen nach 6 Wochen unter Beleuchtung durch Na-Dampflampe (oben) und LEDs (links) bzw. bei ambienten Lichtbedingungen (rechts)

Nach Nabors (2007) sind an der Regulierung des Sprossachsenwachstums maßgeblich zwei Photorezeptoren und drei Phytohormone beteiligt. Ruiz Fernandez (1991) bestätigt in seiner Abhandlung, dass die Wahrnehmung von Lichtqualität und -quantität, Dauer und Richtung des Lichts durch Photorezeptoren erfolgt. Ethylen fördert unter anderem waagerechtes Wachstum und Dickenwachstum. Die in diesem Kontext wichtige Hauptfunktion von Auxin ist die Anregung von Sprosswachstum. Auxin Stimulation fördert das Höhenwachstum von Pflanzen, während Ethylen erregte Pflanzen eher gedrunken sind. Inwieweit diese Phytohormone das Wachstum von *Fallopia sachalinensis* in den drei Behandlungen beeinflusst haben, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Es könnte allerdings eine Erklärung für die verschiedenen Erscheinungsformen der Pflanzen, der drei Behandlungen, sein.

Bei einem Vergleich von Currey (2013) konnte kein signifikanter Einfluss von Na-Dampflampe und LED auf *Pelargonium* und *Impatiens* festgestellt werden. Auf *Fallopia sachalinensis* hatten die Beleuchtungen mit Na-Dampflampe und LED keinen signifikanten Einfluss bezogen auf Blattanzahl und Blatttrockenmasse. Es waren ebenfalls keine Unterschiede zwischen Stängelanzahl, Stängellänge und Stängeltrockenmasse zwischen den Pflanzen der Behandlungen mit LED und Na-Dampflampe feststellbar.

Allerdings gab es einige signifikante morphologische Unterschiede zwischen den Pflanzen unter den Beleuchtungen gegenüber den Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung.



Abbildung 21 Morphologie der Pflanzen nach 6 Wochen, von links nach rechts: ohne Beleuchtung, LED, Na-Dampflampe

Das Phytochrom ist ein Lichtrezeptor, welches rotes und dunkelrotes Licht absorbiert und diverse Entwicklungsreaktionen auslöst. Unter anderem beeinflusst die Phytochromreaktion nach Nabors (2007) die Sprossstreckung von Pflanzen.

Eine Förderung des Stängelwachstums durch rotes und fernrotes Licht wurde anhand eines Versuches mit *Pelargonium* von Appelgren (1991) beschrieben.

Eine Zunahme der Stängellänge von Fallopiä unter LED gegenüber Pflanzen aus den beiden anderen Behandlungen konnte, anhand des in dieser Arbeit geschilderten Versuchs, nicht nachgewiesen werden. Bei der ersten Probenahme hatten die Pflanzen aus der Behandlung ohne Lampe die längsten Stängel und Pflanzen unter LED die kürzesten Stängel gebildet. Bei Probenahme 2 hatten die Pflanzen unter der Na-Dampflampe die längsten Stängel, und die Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung die kürzesten Stängel gebildet.

Solange sich Pflanzen nicht nach dem Licht strecken müssen, bleiben die Sprossachsen kurz (Nabors, 2007). Lichtmangel bestand in den Behandlungen LED und Na-Dampflampe nicht. Die Lichtquantität war stets deutlich höher als in der Behandlung ohne Lampe. Bei Probenahme 1 waren die Stängel der Pflanzen unter LED im Durchschnitt am kürzesten. Die Stängellänge nahm von Probenahme 1 zu 2 bei Pflanzen unter LED im Durchschnitt 10cm zu. Die Stängel der Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung wurden vom 9.4.2013 bis 14.5.2013 im Durchschnitt allerdings nur 2cm länger.

Die Lichtquantität bestimmt die Anzahl der gebildeten Blätter, sodass viel Licht dazu führt, dass wenige Blätter gebildet werden (Sitte, et al., 2002). Dies kann innerhalb des durchgeführten Versuches nicht bestätigt werden. Die mittlere Blattanzahl von Fallopiä aus der Behandlung mit LEDs war gegenüber Pflanzen der Behandlung ohne Lampe bei der ersten Probenahme signifikant verschieden. Wobei Fallopiä unter LED fast doppelt so viele Blätter gebildet hatte als Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden. Die Pflanzen der Behandlung mit LED waren allerdings die einzigen, deren mittlere Blattanzahl pro Pflanze im Verhältnis von Probenahme 1 zu 2 abgenommen hatte.

6.2 Photosynthetische Aktivität

Die Assimilationsrate von Pflanzen der Behandlung mit LED war gegenüber der Assimilationsrate von Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden, signifikant verschieden. Wobei die Pflanzen unter LED-Beleuchtung die höchsten Werte erreichten. Die Assimilationsrate von Fallopia unter der Na-Dampflampe war im Durchschnitt höher als die von Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden. Dieser Unterschied war allerdings nicht signifikant verschieden. Da das Mikroklima innerhalb der drei Behandlungen unterschiedlich war, ist es fraglich, ob die höheren Assimilationsraten der Pflanzen unter Na-Dampflampe durch die vorhandene Strahlung oder durch die höhere Temperatur erreicht worden sind.

Es bestand ebenfalls ein signifikanter Unterschied der Assimilationsraten zwischen Pflanzen der Behandlung mit LED und Na-Dampflampe. Die LED-Beleuchtung hatte somit höhere Effekte auf die Photosyntheserate pro Fläche als eine Na-Dampflampe. Ein mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass hohe Anteile, der von der Na-Dampflampe emittierten Wellenlängen außerhalb des photosynthetischen aktiven Optimums von Chloroplasten und Carotinoiden liegen (Bergstrand, 2012). Olle (2013) beschreibt den Einfluss von blauen LEDs mit oder ohne Kombination mit roten LEDs, wonach diese zu gesteigerten Chlorophyllgehalten führen, sodass höhere Photosyntheseraten möglich seien (Olle, 2013).

Herm (1978) nennt im Zusammenhang mit seinem Versuch über Untersuchungen zur Entwicklung des Photosyntheseapparates von Gerstenkeimlingen nach Bestrahlung mit Blau- und Rotlicht diverse Blaulichteffekte. Er erklärt die beschleunigte Bildung von Chloroplasten, ebenso die Notwendigkeit von Blaulicht zur Chloroplastenbildung, die verstärkte Synthese carboxylierender Enzyme der photosynthetischen Dunkelreaktion und den verstärkten Einbau von CO₂ in Aminosäuren.

Außerdem fanden Terfa et al. (2012) heraus, dass der Anteil von Chloroplasten bei Rosen unter LED-Beleuchtung (80% rot und 20% blau) gegenüber einer Beleuchtung mit Na-Dampflampe signifikant gestiegen war.

Weiler & Nover (2008) beschreiben, dass Rotlichtbestrahlung eine vollständige Photosynthese ohne Aufheizeffekte ermöglicht. Rotes und blaues Licht werden von Pflanzen absorbiert, während grünes Licht im Gegensatz zu rotem und blauem Licht eher reflektiert als absorbiert wird (Kim, et al., 2006). Allerdings nennen Vogelmann et al. (1996) die Wirkung von Wellenlängen außerhalb des photosynthetische aktiven Optimums. Demnach werden diese Wellenlängen mehrmals im Blatt gebrochen, sodass die Wahrscheinlichkeit steigt, dass die Photonen von Chlorophyll absorbiert werden. Etwa 50% oder mehr des grünen Lichts werden im Blatt absorbiert und können bei der Photosynthese genutzt werden (Kim, et al., 2006).

Der Lichtkompensationspunkt bei Sonnenpflanzen ist höher als bei Schattenpflanzen, sodass Schattenpflanzen bei geringeren Lichtintensitäten mehr Biomasse produzieren als Sonnenpflanzen (Bayrhuber & Kull, 2005). Demnach hatten Fallopia-Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden, trotzdem das Tageslicht effektiv nutzen können.

Die Transpirationsrate bei Pflanzen der drei Behandlungen war nicht signifikant verschieden. Die Verdunstungsrate steigt durch trockene, warme und bewegte Luft. Wie viel Wasser über die Pflanzenoberfläche abgegeben werden kann, wird bestimmt durch Oberflächenbeschaffenheit, Wassernachschub und Öffnung der Stomata (Rünger, 1976).

Die stomatäre Leitfähigkeit ist nach Kim et al. (2004) von der Lichtqualität abhängig. Nabors (2007), und Kim (2004) beschreiben den Einfluss von blauem Licht auf die Zunahme von geöffneten Stomata. Dabei gab es bei Fallopia in den drei Behandlungen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der stomatären Leitfähigkeit.

Eine erhöhte stomatäre Leitfähigkeit korrelierte nach Kim et al. (2004) nicht direkt mit der Trockenmassenzunahme. Wobei bei einer Kombination aus rotem und blauem Licht und bei rotem, blauem und grünem Licht gegenüber weißem Licht eine Zunahme der Trockenmasse verzeichnet wurde (Kim, et al., 2004). Die Blatt- und Stängel trockenmasse von Fallopia war bei den Behandlungen mit LED und Na-Dampflampe nach 3 Wochen gegenüber Pflanzen, die nicht

zusätzlich beleuchtet worden sind, signifikant verschieden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die stomatäre Leitfähigkeit bei der Assimilation nicht der limitierende Faktor ist.

6.3 Zusammenhang zwischen morphologischen Veränderungen und photosynthetischer Aktivität

Die LEDs emittieren ultraviolettes und fernrotes Licht, welches nach Olle (2013) zu einer Steigerung der Biomasse und der Blattfläche führt.

Diese Aussage von Olle (2013) kann insofern bestätigt werden, da *Fallopia* unter LED bei beiden Probenahmen die größte Blattfläche, im Vergleich mit den Pflanzen der beiden anderen Behandlungen, hatte. Die Unterschiede waren aber nicht signifikant.

Die durchschnittliche Stängel trockenmasse unterschied sich in den ersten Probenahmen zwischen Pflanzen der LED-Behandlung und Pflanzen der Behandlung ohne Lampe signifikant. Bei der zweiten Probenahme ergaben sich signifikante Unterschiede im Bezug auf die Stängel trockenmasse von *Fallopia* in den Behandlungen LED und Na-Dampflampe im Vergleich mit Pflanzen der Behandlung ohne Lampe. Die Behandlung ohne Lampe war die einzige Behandlung, bei der keine signifikanten Unterschiede bezogen auf die Stängel trockenmasse von Probenahme 1 zu 2 festgestellt werden konnten.

Die Zunahme der Blatt trockenmasse war bei allen Pflanzen bei Probenahme 1 signifikant verschieden gegenüber der Blatt trockenmasse, die in Probenahme 2 ermittelt wurde. Die Pflanzen der Behandlung ohne Lampe hatten bei beiden Probenahmen die geringste Blatt trockenmasse. Bei dem Vergleich der Blatt trockenmasse bei Probenahme 2 ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Pflanzen aus den Behandlungen mit Beleuchtung und den Pflanzen, die nicht zusätzlich beleuchtet wurden.

Das Verhältnis von Blatt-Trockengewicht und Blattfläche wird durch die spezifische Blattfläche ausgedrückt (SLA). Krautpflanzen besitzen im Vergleich

zu Koniferen einen hohen SLA. Ein hoher Wert steht hierbei kennzeichnend für dünne Blätter. Sinkt der Wert des SLA, besagt das, dass die Blätter dicker und fester sind.

Der SLA war bei Pflanzen aller Behandlungen zwischen Probenahmen 1 und 2 verschieden. Pflanzen aus der Behandlung ohne Lampe hatten im Mittel den höchsten SLA und die Pflanzen aus der Behandlung mit LED den kleinsten SLA. Ältere Blätter besitzen ebenfalls einen niedrigen SLA, oder anders ausgedrückt, haben diese Pflanzen im Verhältnis zu pro g Trockensubstanz eine kleine Blattfläche. Der SLA, als guter Indikator für pflanzliches Wachstum und Investitionen aus Assimilaten, war signifikant verschieden zwischen den Pflanzen der Behandlungen mit LED und mit Na-Dampflampe gegenüber den Pflanzen der Behandlung ohne Lampe. Die höhere Assimilationsrate der Pflanzen unter LED hatten folglich die Assimilate nicht in mehr Blattfläche, stattdessen wurde in dickere Blätter investiert.

Dies konnte erwartet werden, da die Blätter von Sonnenpflanzen meist kleiner, aber dicker und derber sind, als Blätter von Schattenpflanzen, welche oft größer, dafür aber dünner und feiner sind (Bayrhuber & Kull, 2005). Bei Probenahme 1 war die durchschnittliche Blattgröße von Fallopia in der Behandlung ohne zusätzliche Beleuchtung deutlich größer, als die Blattgröße von Pflanzen in den Behandlungen mit Beleuchtung.

Die Trockensubstanz steht kennzeichnend für das Wachstum einer Pflanze. Sie stellt die Bilanz aus Einnahmen und Ausgaben dar. Sitte et al. (2002) beschreiben die Netto-Kohlenstoffbindung dabei als Funktion aus Photosyntheserate pro Blattflächeneinheit, gesamte Blattfläche pro Gesamtbiomasse (LAR) der Pflanzen, Respiration der Organe, Exporte von Kohlenstoff und die Aktivität von C-Senken.

Werden die Kosten vernachlässigt, kann der Ertrag als Produkt aus Leistung und Leistungsdauer beschrieben werden. Dabei bestimmt die Investition der Kohlenstoffassimilate das Wachstum (Sitte, et al., 2002). Eine tägliche Verzinsung wird erreicht, sollte in Blattfläche investiert werden, da dadurch mehr Fläche für Photosynthese zur Verfügung steht. Bei der ersten Probenahme hatten die Pflanzen der Behandlung ohne Lampe mit einer

durchschnittlichen Größe von $18,99\text{cm}^2$ die größten Blätter ausgebildet (Na-Dampflampe $13,43\text{cm}^2$, bei LED $12,06\text{cm}^2$). Stängel bleiben bei der Bilanzierung neutral. Speicherorgane haben niedrige Kosten, da die aus der Photosynthese gebildeten Assimilate kaum umgewandelt werden müssen. Feinwurzeln haben dagegen hohe Kosten. Die Art der Investition von Assimilationsprodukten hängt dabei stark mit dem Ressourcenangebot zusammen.

7 Schlussfolgerungen und ggf. weiterer Forschungsbedarf

Nährstoffe, Wasser, Temperatur und Licht sind die wichtigsten wachstumsdeterminierenden Faktoren. Demnach wurde nur einer dieser Parameter in dem durchgeführten Versuch genauer betrachtet. Um den Einfluss von Lichtqualität und -quantität auf *Fallopia sachalinensis* beschreiben zu können, werden drei Behandlungen, eine ohne Beleuchtung, mit LED-Panel und mit Na-Dampflampe, aufgebaut. Nach den beiden Probenahmen im Abstand von drei Wochen, zur Bestimmung von Blattfläche, Blattanzahl, Stängelanzahl und Stängellänge sowie der Trockenmasse von Blättern und Spross, können teilweise signifikante Unterschiede zwischen den drei Behandlungen festgestellt werden. Die mittlere Blattfläche der Pflanzen der Behandlung mit Na-Dampflampe war signifikant kleiner, als die Blattfläche der Pflanzen ohne zusätzliche Beleuchtung. Dies ist allerdings der einzige signifikante morphologische Unterschied zwischen den Pflanzen der Behandlungen LED und Na-Dampflampe.

Zwischen Pflanzen der zwei Behandlungen mit Beleuchtung und der Behandlung ohne Lampe konnte bezüglich Stängellänge und Stängelanzahl kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Zwischen Pflanzen der Behandlung mit LED verglichen mit Pflanzen der Behandlung ohne Lampe ergaben sich signifikante Unterschiede bei der durchschnittlichen Blattanzahl bei der ersten Probenahme. Die Pflanzen der Behandlungen LED und Na-Dampflampe unterschieden sich signifikant gegenüber den Pflanzen der Behandlung ohne Lampe bezogen auf Blatttrockenmasse und Stängel trockenmasse bei Probenahme 2. Die spezifische Blattfläche der Pflanzen aus den Behandlungen LED und Na-Dampflampe unterschied sich in beiden Probenahmen signifikant gegenüber der spezifischen Blattfläche der Pflanzen der Behandlung ohne Lampe.

Das auf photosynthetisch aktive Strahlung abgestimmte LED-Panel sorgte für die höchsten Assimilationsraten und den meisten Biomassezuwachs. Die

Assimilationsraten der Pflanzen aus der Behandlung mit LED waren signifikant verschieden gegenüber den Assimilationsraten der Pflanzen der Behandlung mit Na-Dampflampe und Pflanzen, die nicht zusätzlich gelehuchtet wurden. Der Assimilationsgewinn von Fallopia unter LED wurde in Biomasse, statt in eine Vergrößerung der Blattfläche oder Erhöhung der Blattanzahl, investiert.

Da die Pflanzen aus der Behandlung mit Na-Dampflampe ebenfalls signifikant unterschiedliche Assimilationsraten gegenüber den Pflanzen der Behandlung ohne Lampe aufwiesen und nach sechs Wochen keine morphologisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten, ist fraglich ob die Beleuchtung mit LEDs als geeignetere Beleuchtung gegenüber Na-Dampflampe in Bezug auf pflanzliches Wachstum einzustufen ist. Die abgebende Strahlung der Na-Dampflampe kann auf Blattebene bezogen photosynthetisch fast ebenso wirksam sein, wie die Strahlung der LEDs, bei der Chloroplasten und Carotinoide direkt aktiviert werden.

Da die beleuchteten Varianten nur seitlich abgeschirmt wurden und natürliches Licht in der Parzelle ohne Beleuchtung von drei Seiten in den Bestand dringen konnte, sind die Voraussetzungen nicht optimal gleichwertig. Neben der Strahlung, welche von den Lampen abgegeben wurde, konnte tagsüber zusätzlich Tageslicht die Pflanzen beeinflussen. Generell führten die unterschiedlichen Temperaturen zu verschiedenen Ausgangsbedingungen. Während die LED-Beleuchtung den Bestand kaum aufheizte, ließ die Dampflampe die Temperaturen in dieser Behandlung stark ansteigen. Ein Temperaturanstieg ist bis zu einem bestimmten Punkt wachstumsfördernd, lässt danach allerdings die Photosyntheserate sinken. Über eine Erwärmung der anderen Behandlungen auf das Niveau der Na-Dampflampe sollte nachgedacht werden. Ebenso kann eine Abtrennung auf vier Seiten und Belüftung der Behandlung mit Na-Dampflampe Versuchsvoraussetzungen angleichen. Da die Pflanzen ohne Beleuchtung gegenüber den Pflanzen unter Beleuchtungen deutlich weniger Wasser benötigten und folglich auch weniger Wasser zugeben wurde, sollte auch dieser Faktor besser einbezogen werden.

Die Trockensubstanzallokation erfolgt nach Sitte et al., 2002 sehr factorspezifisch. Neben dem in dieser Arbeit betrachtete Zusammenhang von Blattfläche und Licht, könnte der Aspekt der Wurzellänge und Ausbildung miteinbezogen werden. Wurzeln sind ein guter Indikator für pflanzliche Entwicklung und Anpassung an Gegebenheiten.

8 Literaturverzeichnis

- Appelgren, M., 1991. Effect of light quality on stem elongation of Pelargonium, *Scientia Hort.*, 45 (1991), pp. 345–351.
- Asch, F., 2013. Vorlesungsmaterial Modul: Reaktion und Anpassung von Pflanzen unter Wasserstress. Universität Hohenheim.
- Augustenberg, L. T., 2012. Wetterdaten - Infoservice Pflanzenbau & Pflanzenschutz. [Online] [Zugriff am 6. Juni 2013].
- Bayrhuber, H. & Kull, U., 2005. Linder Biologie. 22. Auflage Hrsg. Braunschweig: Schroedel.
- Bergstrand, K.-J., 2012. Growth and photosynthesis of ornamental plants cultivated under different light sources, *Acta Horticulturae* .
- Currey, C., 2013. Cuttings of Impatiens, Pelargonium, and Petunia propagated under light-emitting diodes and high-pressure sodium lamps have comparable growth, morphology, gas exchange, and post-transplant performance, *HortScience*, 48(4):428-434.
- Düchs, M., 2012. [Online]
Verfügbar unter: <http://www.br.de/fernsehen/bayerisches-fernsehen/sendungen/unser-land/themen-rubriken/landwirtschaft-und-forst/knoeterich-als-energiepflanze120.html>
[Zugriff am 14. Juni 2013].
- Herm, K., 1978. Untersuchungen zur Entwicklung des Photosyntheseapparates von Gerstenkeimlingen nach Bestrahlung mit Blau- und Rotlicht. Karlsruhe: Fakultät Bio- und Geowissenschaften der Universität Karlsruhe.
- Islam, M. et al., 2012. Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps, *Scientia Horticulturae*, 147:136-143.

- Kim, H.-H., Goins, G., Wheeler, R. & Sager, J., 2004. Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities, United States: *Annals of Botany*, 94(5):691-697.
- Kim, H.-H. et al., 2006. Evaluation of lettuce growth using supplemental green light with red and blue light-emitting diodes in a controlled environment - A review of research at Kennedy Space Center, United States: *Acta Horticulturae*, 711:111-119.
- Kim, S.-J., 2004. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro, *Scientia Horticulturae*, 101(1-2):143-151.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2013. Neobiota. [Online]
Verfügbar unter: www.neobiota.naturschutzinformationen-nrw.de
[Zugriff am 26 September 2013].
- Nabors, M. W., 2007. Botanik. München: Pearson Studium.
- Olle, M., 2013. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality, *Agricultural and Food Science*.
- Ruiz Fernandez, S., 1991. Wechselwirkungen zwischen Licht und endogener Rhythmik beim Sprossachsenwachstum. Freiburg: Holger Klein.
- Rünger, W., 1976. Licht und Temperatur im Zierpflanzenanbau. 3 Hrsg. Berlin, Hamburg: Paul Parey.
- Seppälä, M., 2013. Screening of novel plants for biogas production in northern conditions, *Bioresource Technology*.
- Sitte, P. et al., 2002. *Straßburger, Lehrbuch der Botanik*. Heidelberg, Berlin: Spektrum akademischer Verlag.
- Taiz, L. & Zeiger, E., 2010 *Plant Physiology*. [Online]
Available at: <http://www.sinauer.com/plant-physiology.html>
[Zugriff am 17. Juni 2013].

- Terfa, M. et al., 2012. Light emitting diodes with a high proportion of blue light affects external and internal quality parameters of pot roses differently than the traditional high pressure sodium lamp, *Acta Horticulturae*, 956:635-641.
- Vogelmann, T., Nishio, J. & Smith, W., 1996. Leaves and light capture: Light propagation and gradients of carbon fixation within leaves, University of Wyoming, United States: *Trends in Plant Science*, 1(2):65-70.
- Weiler, E. & Nover, L., 2008. *Allgemeine molekulare Botanik*. 2 Hrsg. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Wienert, P. N. C., 2011. Bioenergy from *Fallopia japonica* and cow dung, *Biologie in Unserer Zeit* 41 (6), pp. 396-401 .

9 Anhang

Tabelle 2 ausgewählte Wetterdaten der Station Hohenheim (Augustenberg, 2012)

Datum	ETO	Strahlung	Sonnen
	Penman	kWh/m ²	Stunden
01.04.2013	1,5	3,6	9,0
02.04.2013	0,9	1,4	-
03.04.2013	1,3	1,8	2,0
04.04.2013	1,8	3,6	8,0
05.04.2013	0,8	1,3	-
06.04.2013	0,7	1,0	-
07.04.2013	1,4	3,6	7,0
08.04.2013	1,2	2,7	8,0
09.04.2013	1,3	2,4	5,0
10.04.2013	1,8	2,5	7,0
11.04.2013	1,5	2,4	6,0
12.04.2013	2,3	3,4	10,0
13.04.2013	2,5	3,4	9,0
14.04.2013	2,7	4,5	8,0
15.04.2013	3,5	4,9	10,0
16.04.2013	2,6	3,6	10,0
17.04.2013	2,9	4,7	9,0
18.04.2013	3,4	3,6	6,0
19.04.2013	1,9	1,8	4,0
20.04.2013	1,2	0,6	-
21.04.2013	0,8	1,3	-
22.04.2013	0,9	1,3	3,0
23.04.2013	2,5	4,4	9,0
24.04.2013	3	5,3	10,0
25.04.2013	2,7	4,9	10,0
26.04.2013	2,7	3,1	7,0
27.04.2013	0,4	0,8	-
28.04.2013	0,9	1,8	3,0

29.04.2013	0,9	1,5	1,0
30.04.2013	1,2	2,0	5,0
01.05.2013	1,7	3,1	8,0
02.05.2013	2	3,6	9,0
03.05.2013	0,8	1,1	-
04.05.2013	1,4	2,4	5,0
05.05.2013	2,7	5,0	11,0
06.05.2013	2,8	4,8	10,0
07.05.2013	1,8	3,1	7,0
08.05.2013	3	5,3	11,0
09.05.2013	2,2	3,3	8,0
10.05.2013	2	2,9	6,0
11.05.2013	1,6	2,8	6,0
12.05.2013	1,8	3,3	6,0
13.05.2013	1,3	1,9	3,0
14.05.2013	2,9	4,5	10,0
15.05.2013	2,6	4,5	10,0

Erklärung

Hiermit erkläre ich,

Name, Vorname Schappert, Alexandra

Geboren am 23.04.1991

Matrikelnummer 501347

Dass die vorliegende, an diese Erklärung angefügte Bachelor-Arbeit selbstständig und ausschließlich unter Zuhilfenahme der im Literaturverzeichnis genannten Quellen angefertigt wurde und noch an keiner anderen Stelle vorgelegt wurde. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderen fremden Mitteilungen entnommen wurden, sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Betreuender Dozent Prof. Dr. Asch

Thema der Arbeit Einfluss von Lichtqualität und -quantität auf das Wachstum von *Fallopia sachalinensis*

Semester 6

Ich erkläre weiterhin, dass der betreuenden Dozentin ein unverschlüsseltes digitale Textdokument (in einem der Formate doc, docx, odt, pdf, rtf) der Arbeit übermittelt wurde, das in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung entspricht. Mir ist bekannt, dass diese digitale Version anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum, Unterschrift

Danksagung

Ich danke Herrn Professor Dr. Asch für die Bereitstellung eines Themas und der Betreuung meiner Bachelorarbeit. Desweiteren möchte ich Sabine Stürz danken, die mich bei der Planung und Durchführung des Versuchs unterstützte, bei der Auswertung meiner gesammelten Daten und bei der Fertigstellung der Arbeit half. Danken möchte ich Julia Hartmann für die Anleitung der Bedienung der Geräte und Bereitstellung der ermittelten Daten und Marc Schmierer für die Beratung und Hilfe im Gewächshaus.