



# DGG-Proceedings

## Vol. 1, 2011

Short Communications - Annual Conference DGG and BHGL  
23.02. - 26.02.2011, Hannover, Germany  
***Peer Reviewed***

### Editorial Board and Review

Balder, Hartmut *Berlin*  
Damerow, Lutz *Bonn*  
Dirksmeyer, Walter *Braunschweig*  
Drüge, Uwe *Erfurt*  
Michaelis, Gerlinde *Bad-Zwischenahn*  
Rath, Thomas *Hannover*  
Schreiner, Monika *Großbeeren*  
Schuster, Mirko *Dresden*  
Winkelmann, Traud *Hannover*

German Society of Horticultural Sciences (DGG)  
Herrenhäuser Str. 2  
30419 Hannover  
Germany

© DGG, 2011

Christina Stadler \*, Áslaug Helgadóttir, Magnús Á. Ágústsson, Mona-Anitta Riihimäki

Welchen Einfluss haben Beleuchtungszeit und Beleuchtungsquelle auf den Ertrag von Winterpaprika in Island?

---

\*Corresponding Author:

Christina Stadler

Agricultural University of Iceland

Reykjum

810 Hveragerði

Iceland

Email: [christina@lbhi.is](mailto:christina@lbhi.is)

## Welchen Einfluss haben Beleuchtungszeit und Beleuchtungsquelle auf den Ertrag von Winterpaprika in Island?

Stadler, Christina<sup>1</sup>; Helgadóttir, Áslaug<sup>2</sup>; Ágústsson, Magnús Á.<sup>3</sup>; Riihimäki, Mona-Anitta<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Landbúnaðarháskóla Íslands, Reykjum, IS-810 Hveragerði, Iceland;

<sup>2</sup>Landbúnaðarháskóla Íslands, Keldnaholt, IS-112 Reykjavík, Iceland; <sup>3</sup>Bændasamtökum Íslands, Bjarkarbraut 13, IS-801 Selfoss, Iceland; <sup>4</sup>HAMK University of Applied Sciences, Lepaantie 129, FI-14610 Lepaa, Finland

### 1. Einleitung, Stand des Wissens, Zielsetzung

Die extrem geringe natürliche Sonneneinstrahlung im Winter ist in Island und anderen nördlichen Regionen der hauptlimitierende Faktor für einen Gewächshausanbau. Deshalb ist für eine Ganzjahres-Gemüseproduktion eine Zusatzbeleuchtung erforderlich. Dies könnte Importe von unteren Breiten während der Wintermonate ersetzen.

Vorangegangene Versuche haben gezeigt, dass Hochdrucknatriumdampflampen (HPS) als Zwischenbeleuchtung durch ihre Hitzeproduktion zu einem Verbrennen von Blättern und Früchten geführt haben. Der Anteil des marktfähigen Ertrages am Gesamtertrag wurde in Zwischenbeleuchtungssystemen verglichen mit alleiniger Kopfbeleuchtung deutlich verringert, da 2 % der Früchte Lichtschäden aufwiesen und zusätzlich der Anteil der Früchte mit Blütenendfäule um 2 % anstieg (Stadler et al., 2010). Dem könnte möglicherweise entgegengewirkt werden, indem Zwischenbeleuchtungslampen, die nahezu keine Hitze produzieren – wie es mit "light-emitting diodes" (LEDs) der Fall ist – eingesetzt werden. LEDs haben in den vergangenen Jahren ein wachsendes Interesse als mögliche Beleuchtungsquelle (z. B. Tamulaitis et al., 2005; Brown et al., 1995) u. a. wegen ihrer Energieeinsparmöglichkeiten (Bula et al., 1991) erlangt.

Dieser Gesichtspunkt scheint insbesondere vor dem Hintergrund interessant, da die Energiekosten in Island einen hohen Prozentsatz an den Gemüseproduktionskosten ausmachen. Tagsüber sind die Energiekosten höher als nachtsüber, könnten aber durch die Nutzung des günstigeren Nachtтарifs sowie durch ein Beleuchten während des ganzen Wochenendes reduziert werden.

Ziel des Versuches war es daher, zu testen, ob (1) HPS-Lampen durch LEDs ersetzt werden können, ob (2) sich ein Beleuchten zu preisgünstigeren Zeiten neben reduzierten Energiekosten auch in einem angemessenen Paprikaertrag niederschlägt und wie (3) sich die Wahl der Lichtquelle und der Beleuchtungszeit ökonomisch rechnet.

### 2. Material und Methoden

Im Forschungsgewächshaus der Landwirtschaftlichen Universität von Island wurde Paprika (*Capsicum annum* L. cv. Viper und cv. Ferrari, 2 Triebe/Pflanze, Doppelreihen) in zwei Bestandesdichten (Viper: 6 Triebe/m<sup>2</sup>, Ferrari: 9 Triebe/m<sup>2</sup>) in vierfacher Wiederholung gepflanzt. Die Paprikapflanzen wurden mit Hochdrucknatriumdampflampen (HPS) als Kopfbeleuchtung (160 W/m<sup>2</sup>) und entweder mit HPS-Lampen oder LEDs (80 %

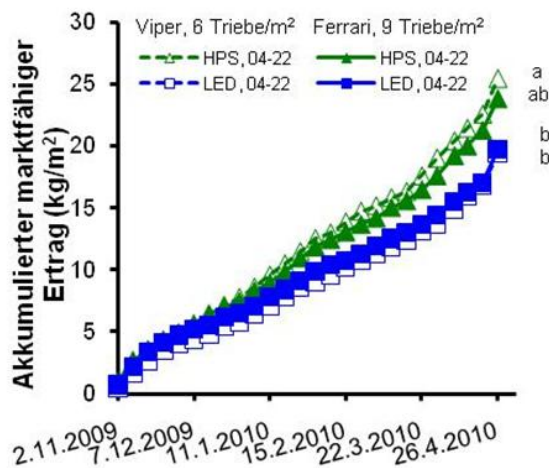
630 nm, 20 % 460 nm) als Zwischenbeleuchtung mit vergleichbarer photosynthetisch aktiver Strahlung für maximal 18 Stunden beleuchtet. Während der Zeit des günstigeren Tarifes (Dezember - Februar) wurde eine Zelle nachts sowie das ganze Wochenende (WE) hindurch beleuchtet, wohingegen in den anderen Monaten in allen Zellen einheitlich von 04 - 22 Uhr beleuchtet wurde. Die wöchentliche Lichtmenge war in allen Zellen gleich. Die Temperatur wurde auf 24 - 25 °C / 17 - 20 °C (Tag / Nacht) eingestellt und die Ventilation startete bei 27 °C. Kohlendioxid wurde appliziert (800 ppm CO<sub>2</sub> ohne Ventilation und 400 ppm CO<sub>2</sub> mit Ventilation). Gedüngt wurde mit Standarddünger durch Tröpfchenbewässerung.

Während der Wachstumszeit wurden regelmäßig grüne und rote Früchte (>50 % rote) geerntet und klassifiziert.

### 3. Ergebnisse

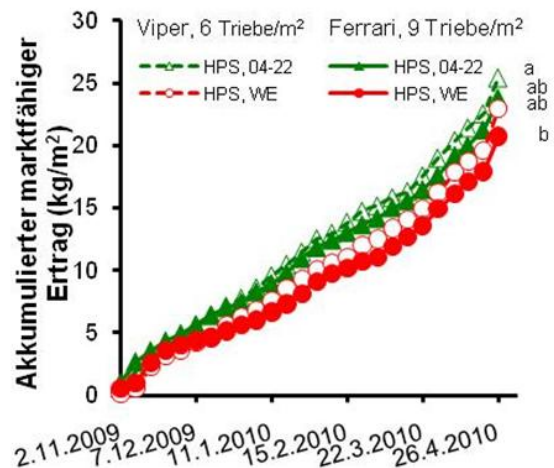
Die unterschiedlichen Beleuchtungsquellen beeinflussten den akkumulierten marktfähigen Ertrag. Mit HPS-Zwischenbeleuchtung wurde ein signifikant / tendenziell (6/9 Triebe/m<sup>2</sup>) höherer Ertrag als mit LED-Zwischenbeleuchtung erzielt (Abb. 1).

Ebenso beeinflusste die Beleuchtungszeit den akkumulierten marktfähigen Paprikaertrag. Wenn Paprika nur nachts und am Wochenende beleuchtet wurde, war der marktfähige Ertrag um 5 - 10 % geringer als bei üblicher Beleuchtungszeit. Allerdings näherte sich der Ertrag kontinuierlich dem bei normaler Beleuchtungszeit an, sobald auch hier wieder zur üblichen Zeit beleuchtet wurde (Abb. 2).



**Abb. 1: Akkumulierter marktfähiger Paprikaertrag mit verschiedenen Beleuchtungsquellen zur Zwischenbeleuchtung**

Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede am Ende der Kultur (HSD,  $p \leq 0.05$ ).



**Abb. 2: Akkumulierter marktfähiger Paprikaertrag zu verschiedenen Beleuchtungszeiten**

Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede am Ende der Kultur (HSD,  $p \leq 0.05$ ).

Der marktfähige Ertrag betrug 85 - 91 % des Gesamtertrages und war mit HPS geringer als mit LED-Zwischenbeleuchtung. Dies war hauptsächlich auf einen hohen Anteil verbrannter Früchte bei HPS-Zwischenbeleuchtung zurückzuführen, was insbesondere bei der Nacht- und Wochenendvariante auffiel. LEDs scheinen den Anteil der Früchte mit Blütenendfäule zu reduzieren. Ebenso beeinflusste die Sorte den Anteil nicht marktfähiger Früchte. So war z. B. "Viper" durch einen größeren Anteil verbrannter Früchte charakterisiert (Tab. 1).

**Tab. 1: Anteil des marktfähigen und nicht marktfähigen Ertrages bei verschiedenen Beleuchtungsregimen**

	Markt- fähiger Ertrag	nicht marktfähiger Ertrag				
		zu leicht	Blütenend- fäule	Licht- schäden	Form- schäden	zu reif + nicht reif
HPS, 04-22	85	3	5	4	2	1
LED, 04-22	91	3	3	0	2	1
HPS, WE	85	3	4	5	2	1
Viper		2		+ 2		+ 2
Ferrari		5				

Mit LED-Zwischenbeleuchtung konnten die Energiekosten um 25 % gesenkt werden. Hingegen wurden die Energiekosten durch Nacht- und Wochenendbeleuchtung nicht nennenswert reduziert (Tab. 2). Allerdings war der Paprikaerlös sowohl bei LED-Zwischenbeleuchtung als auch bei Nacht- und Wochenendbeleuchtung verglichen mit der HPS-Zwischenbeleuchtung tagsüber deutlich geringer. Im Vergleich zum üblichen Beleuchtungssystem kam es bei LED-Zwischenbeleuchtung zu einem Gewinnverlust von 15 - 25 % und bei Nacht- und Wochenendbeleuchtung von 15 - 20 %.

**Tab. 2: Prozentuale Energiekosten, Paprikaerlös und Gewinn bei verschiedenen Beleuchtungsregimen**

	HPS, 04-22	LED, 04-22	HPS, WE
<b>Prozentuale Energiekosten</b> (Kosten für Verteilung (subventioniert) und für Verkauf)	100	72-78	98-100
<b>Prozentualer Paprikaerlös</b>			
Viper, 6 Triebe/m <sup>2</sup>	100	76	90
Ferrari, 9 Triebe/m <sup>2</sup>	100	83	87
<b>Prozentualer Gewinn</b> (Paprikaerlös - Energiekosten)			
Viper, 6 Triebe/m <sup>2</sup>	100	76	86
Ferrari, 9 Triebe/m <sup>2</sup>	100	87	80

#### 4. Diskussion

LEDs verringerten im Vergleich zu HPS-Lampen als Zwischenbeleuchtung den marktfähigen Paprikaertrag um 20 %, wenn zusätzlich HPS-Kopfbeleuchtung verwendet wurde. Auch *Trouwborst et al. (2010)* berichten, dass 38 % LED-Zwischenbeleuchtung zusätzlich zu 62 % HPS-Kopfbeleuchtung in Gurken zu keiner Gesamtbiomasse- oder Ertragssteigerung führten, wobei den Autoren allerdings als Vergleich 100 % HPS-Kopfbeleuchtung diente.

Generell besteht bisher ein Manko an Versuchen mit zwei verschiedenen Lichtquellen in Kombination, wohingegen Versuche mit dem Vergleich verschiedener Beleuchtungsquellen öfter zu finden sind. Dabei erzielten LEDs verglichen mit anderen Beleuchtungsquellen sowohl positive als auch negative Ergebnisse: So wurde z. B. bereits in der Paprika-Jungpflanzen-Produktion unter LEDs ein signifikant geringeres Gesamt-Frischgewicht als mit Halogen-Metallampfen erzielt. Im Gegensatz dazu war das Wachstum von Salatpflanzen unter LEDs nach 21 Tagen vergleichbar mit Literaturwerten anderer Beleuchtungsquellen (*Bula et al., 1991*). *Massa et al. (2008)* halten es für möglich, dass sich LEDs in ihrer Effizienz in Kürze den traditionellen Beleuchtungsquellen annähern und sie noch übertreffen werden.

Die Paprikapflanzen vertrugen zwar während des ganzen Wochenendes und während der Nacht die Zusatzbeleuchtung, lieferten aber einen geringeren Ertrag als bei der üblichen Beleuchtungszeit von 04 - 22 Uhr. Wurden Pflanzen nicht nur während des Wochenendes, sondern kontinuierlich (24 h) beleuchtet, so wurden bei Paprika sowohl geringere Erträge als auch Blattdeformationen festgestellt (*Demers et al., 1998b*). Die Autoren sehen es aber als eine noch zu testende Möglichkeit an, Paprikapflanzen für ein paar Wochen kontinuierlichem Licht auszusetzen, um eine Wachstums- und Ertragssteigerung zu erzielen. Wird die alleinige durchgehende Wochenendbeleuchtung als ein solches System angesehen, so konnte dies im vorgestellten Versuch nicht bestätigt werden.

Bei Tomaten führte kontinuierliches Licht nach 7 Wochen zu Blattchlorosen, wohingegen nach nur 5 - 7 Wochen kontinuierlichen Lichtes ein besseres Wachstum und höhere Erträge als bei Pflanzen mit einer Beleuchtungsdauer von 14 h festgestellt wurden (*Demers et al., 1998a*). *Doraís (2003)* berichtet gar von Blattchlorosen an Tomaten nach mehreren Tagen mit mehr als 17 h oder sogar kontinuierlichem Zusatzlicht. Dahingegen zeigten Tomatenpflanzen mit nahezu 24 h natürlichem Sonnenlicht in Finnland keine negativen Symptome. Deshalb scheinen zum einen die Qualität des Lichtes (natürliches / künstliches Licht) sowie die Zeitdauer der Zusatzbeleuchtung ausschlaggebend für positive / negative Effekte zu sein. Demnach mag die Dauer der kontinuierlichen Zusatzbeleuchtung während des Wochenendes ausschlaggebend für die geringeren Erträge gewesen sein, denn nach dem Umstellen auf normale Belichtungszeiten passten sich die Pflanzen im Ertrag wieder an.

Bei Beleuchtungszeiten von 04 - 22 Uhr verglichen mit denen von 23 - 17 Uhr erzielten *Gunnlaugsson & Aðalsteinsson (2003)* 12 % höhere Tomatenerträge, welche die um 11 % höheren Elektrizitätskosten bei üblichen Beleuchtungszeiten kompensierten. Daraus folgerten die Autoren, dass es nicht nötig sei, die Beleuchtungszeit für Tomaten an Elektrizitätstarife anzupassen. Dies wurde im vorliegenden Versuch mit Paprika bestätigt.

## 5. Schlussfolgerung

Mit LED-Zwischenbeleuchtung konnten die Energiekosten zwar um 25 % gesenkt werden, aber ein um 20 % geringerer Ertrag führte nach Berücksichtigung des Paprikaerlöses zu einem deutlichen Gewinnverlust. Ebenso stand einer nicht nennenswerten Reduzierung der Energiekosten durch Nacht- und Wochenendbeleuchtung ein höherer Ertragsverlust gegenüber. Aus ökonomischen Gesichtspunkten scheint daher eine normale Beleuchtungszeit mit HPS-Lampen empfehlenswert.

## 6. Literatur

Brown CS, Schuerger AC, Sager JC, 1995: Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120, 808-813.

Bula RJ, Morrow RC, Tibbitts TW, Barta DJ, Ignatius RW, Martin TS, 1991: Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience* 26, 203-205.

Demers DA, Dorais M, Wien CH, Gosselin A, 1998a: Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *Sci. Hortic.* 74, 295-306.

Demers DA, Gosselin A, Wien HC, 1998b: Effects of supplemental light duration on greenhouse sweet pepper plants and fruit yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123, 202-207.

Dorais M, 2003: The use of supplemental lighting for vegetable crop production: Light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices. *Canadian Greenhouse Conference* October 9.

Gunnlaugsson B, Aðalsteinsson S, 2003: Áhrif lýsingartíma of frævunar á vöxt og uppskeru tómata við raflýsingu. *Garðyrkjufréttir* 210.

Massa GD, Kim HH, Wheeler RM, Mitchell CA, 2008: Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience* 43, 1951-1956.

Stadler C, Helgadóttir Á, Ágústsson MÁ, Riihimäki MA, 2010: How does light intensity, placement of lights and stem density affect yield of wintergrown sweet pepper? *Fræðaging landbúnaðarins*, 227-232.

Tamulaitis G, Duchovskis P, Bliznikas Z, Breive K, Ulinskaite R, Brazaityte A, Novickovas A, Zukauskas A, 2005: High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. *J. Phys. D. Appl. Phys.* 38, 3182-3187.

Trouwborst G, Oosterkamp J, Hogewoning SW, Harbinson J, van Ieperen W, 2010: The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. *Physiol. Plant.* 138, 289-300.