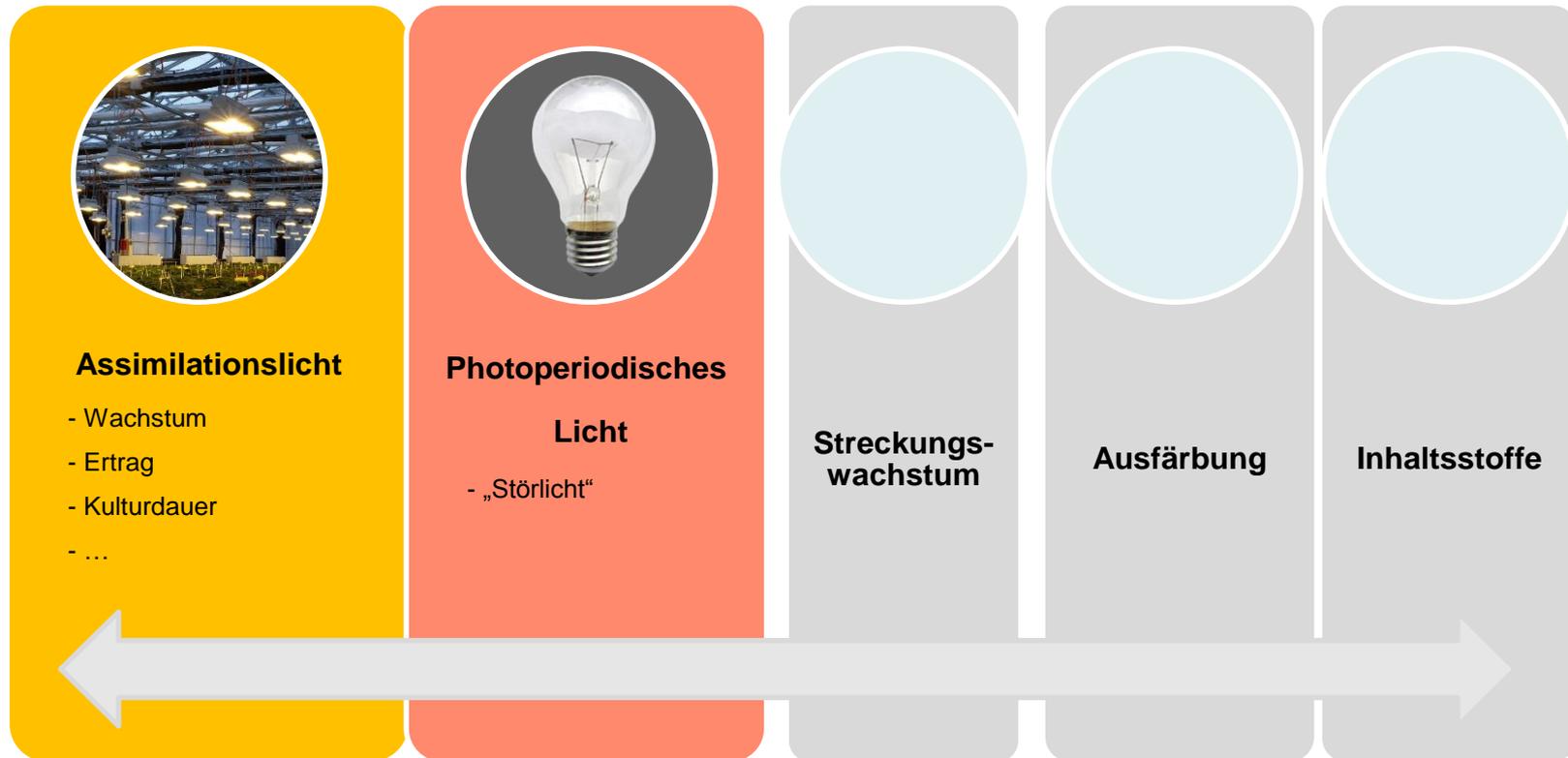


# Spektrale Effekte im Zierpflanzenbau

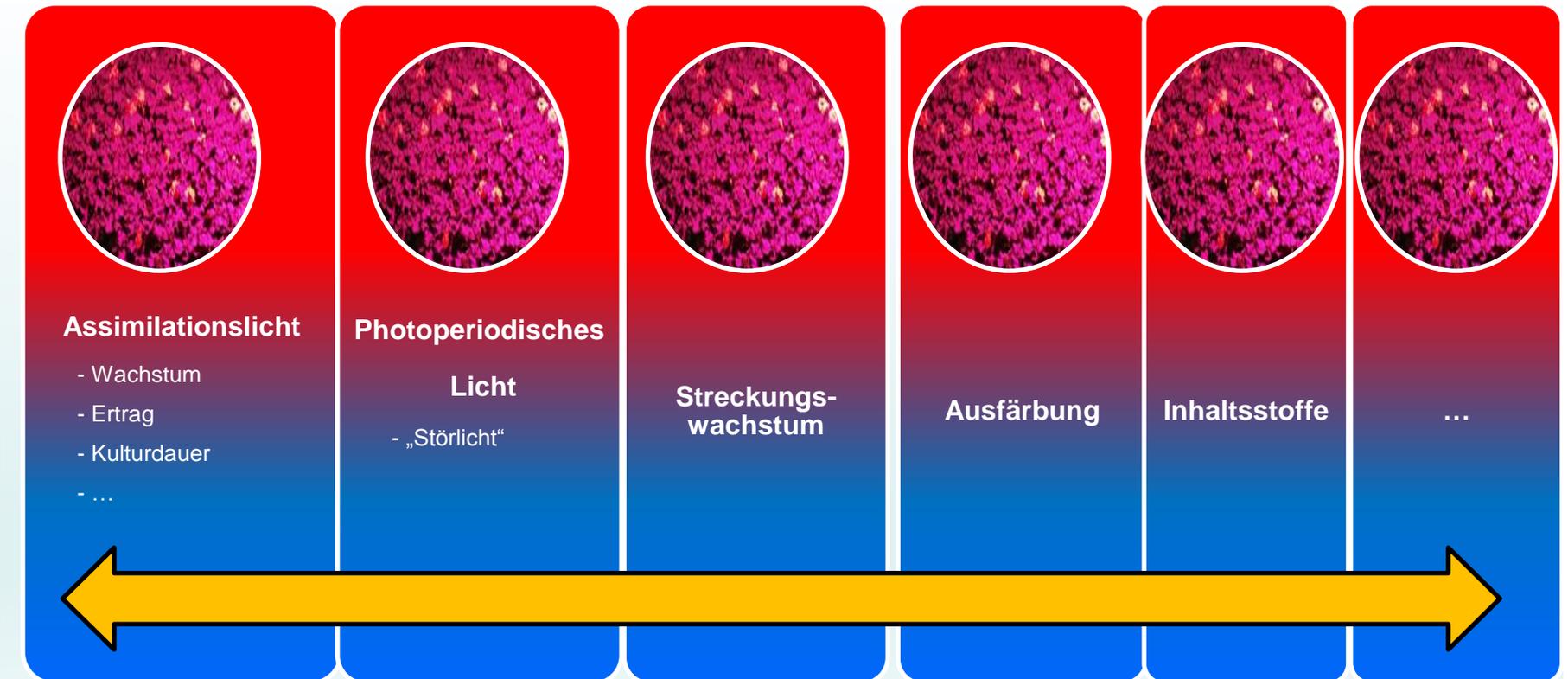


## Wachstum steuern mit Licht!

## Bisher:



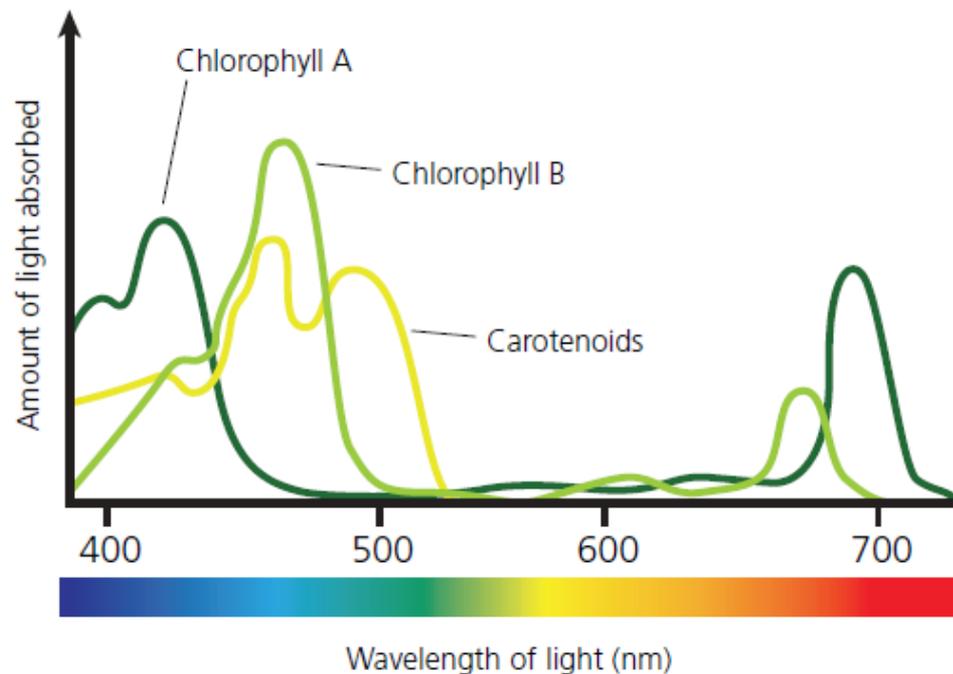
# Wachstum steuern mit Licht?



## „Spektrale Effekte“ im Zierpflanzenbau

- **Photosynthetische Wirkung**
- **Streckungswachstum**
- **Qualität**
- **Inhaltsstoffe**
- **Photoperiodische Wirkung**
- ...

# Photosynthese: Absorptionsspektrum



The absorption spectra of extracted chlorophyll and carotenoids (accessory pigments). The primary light harvesting chlorophylls absorb light in the blue and red regions. Carotenoids absorb in the blue and green regions.

# Warum nicht grün?

Grünes Licht: der vergessene Teil des Spektrums!?

*Plant Cell Physiol.* 39(10): 1020–1026 (1998)  
JSPF © 1998

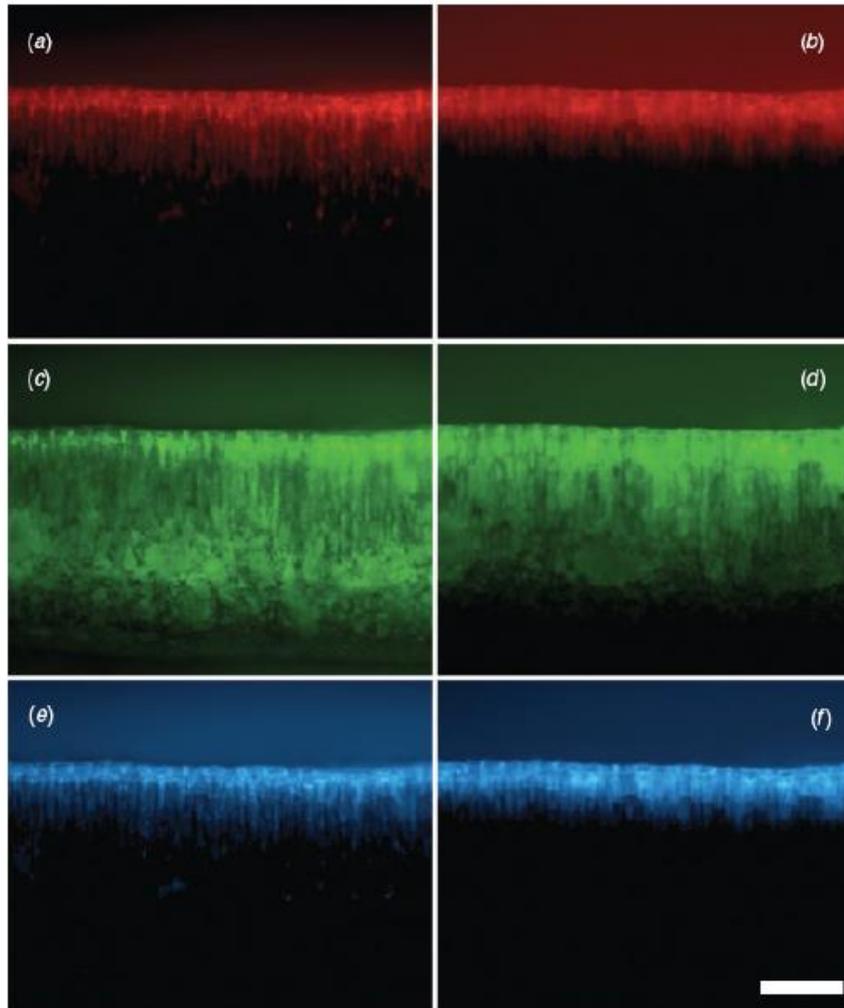
## **Green Light Drives CO<sub>2</sub> Fixation Deep within Leaves<sup>1</sup>**

**Jindong Sun, John N. Nishio<sup>2</sup> and Thomas C. Vogelmann**

*Department of Botany, University of Wyoming, Laramie, Wyoming 82071-3165, U.S.A.*

## Light absorption in *Antirrhinum majus* leaves

Direct  
light



Diffuse  
light

Chlorophyll  
fluorescence  
images

Brodersen and Vogelmann (2010)  
Funct. Plant Biol. 37: 403-412



# Grün scheint bei hohem Gesamtlichtangebot photosynthetisch effektiver als Rot!



Special Issue – Mini

## Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green

Ichiro Terashima<sup>1,\*</sup>, Takashi Fujita<sup>1</sup>, Takeshi Inoue<sup>1</sup>, Wah Soon Chow<sup>2</sup> and Riichi Oguchi<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Biological Sciences, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033 Japan

<sup>2</sup>Photobioenergetics Group, School of Biology, College of Medicine, Biology and Environment, The Australian National University, Canberra, ACT 0200, Australia

*Plant Cell Physiol.* 50(4): 684–697 (2009) doi:10.1093/pcp/pcp034 © The Author 2009.

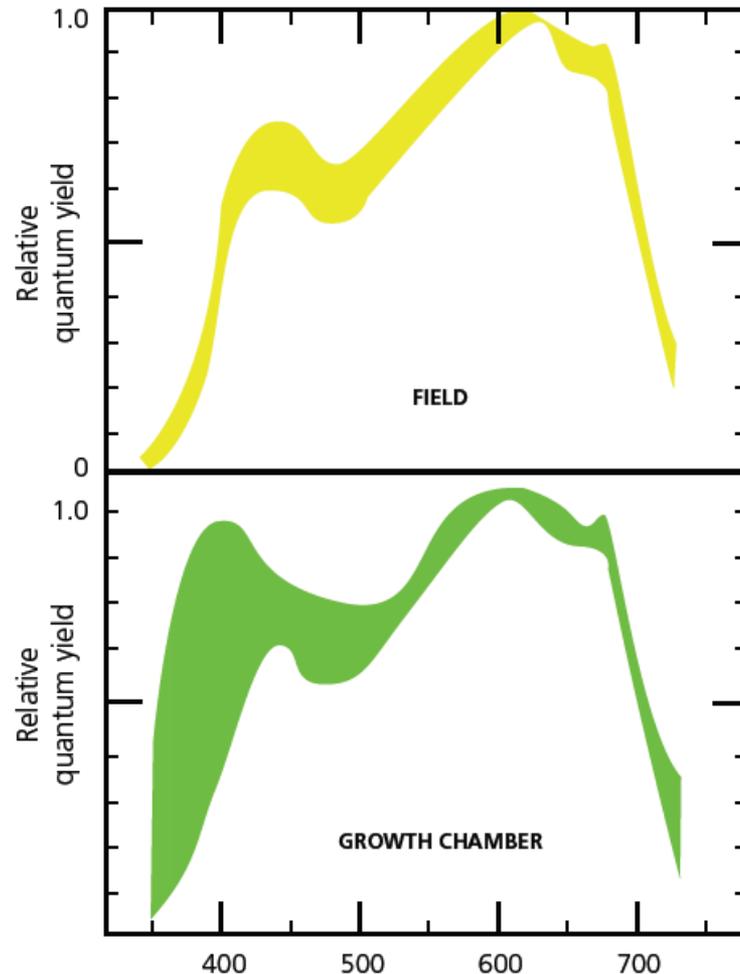
# Aktionsspektrum

Action spectra for 22 plant species grown in the field (top plate) and a growth chamber (bottom plate). (McCree 1972).

The areas of the spectrum that drive photosynthesis are highest in the red end (600-700 nm), followed by the blue region (400-500 nm) and lastly, the green region (500-600 nm). These data show that between 50 and 75% of the green light is used in photosynthesis.

**RED** > **BLUE** > **GREEN**

Thus, Green light is necessary for photosynthesis.



## Spektrum Sonnenlicht (direkte Strahlung)

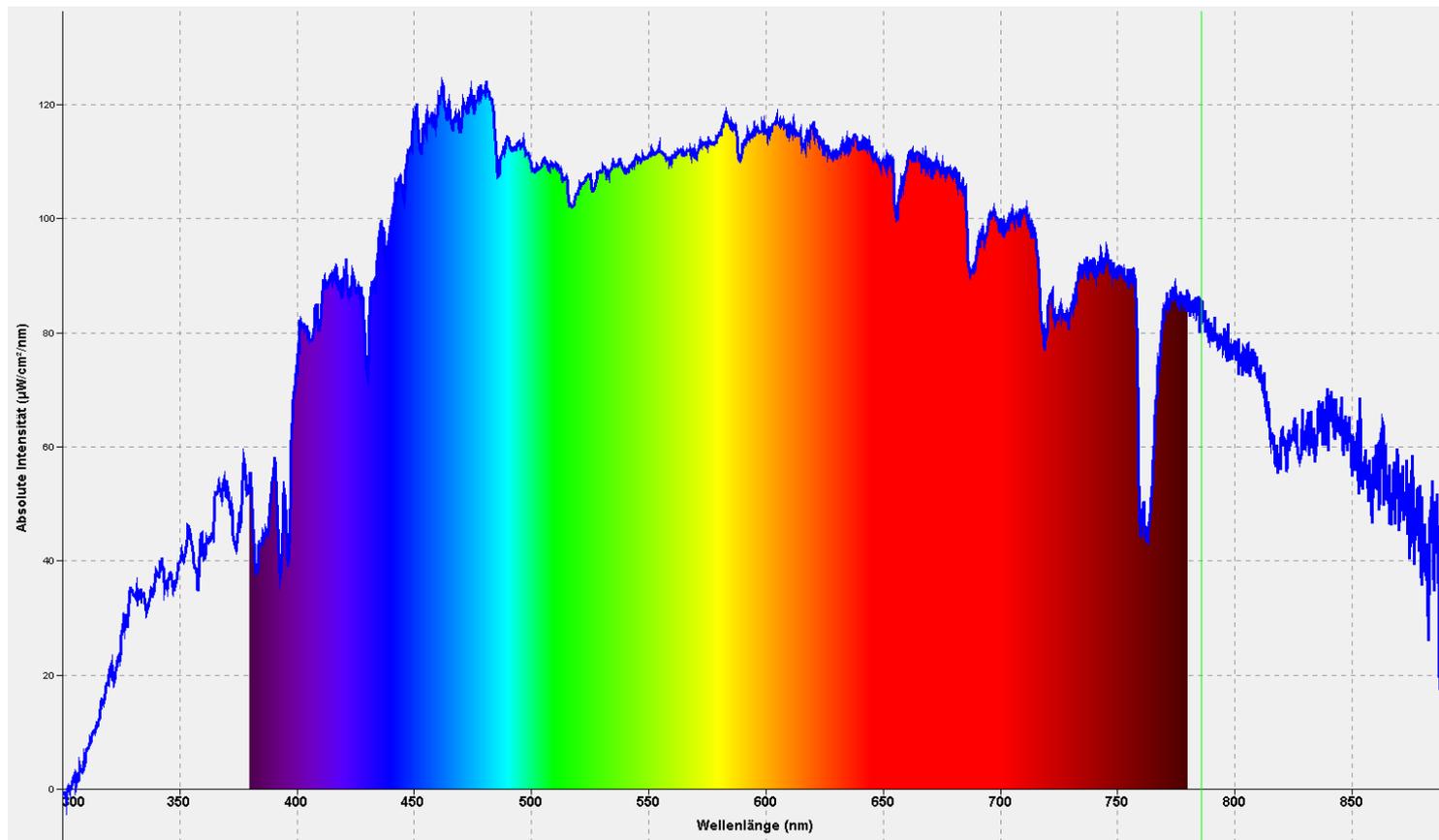


Tabelle: Frischmasse und Trockenmasse von Poinsettien, kultiviert für 4 Monate im Gewächshaus mit Assimilationslicht (100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  = 8,3 klx für SON-T)



Lampe	Frischmasse (g/Pfl.)	Trockenmasse (g/Pfl.)	FM/TM
LED weiß	59,4	8,05	13,3
LED rot/blau	57,6	7,74	13,3
HPS (SON-T)	62,7	8,35	13,4

Bergstrand u. Schüssler, 2012

# Begonia `Peggy`

ViSuELL



LED  
80 % Hellrot  
20 % Blau



LED  
100 % Blau



Natriumdampf-  
Hochdrucklampe

ca. 60  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$

# Was bedeutet ViSuELL?

**Verfahren  
zur selektiven Lichtanwendung  
mit LED  
in Gewächshäusern**

**Interreg**  
North Sea Region  
SMARTGREEN



European Regional Development Fund EUROPEAN UNION

**Förderung:**



**rentenbank**

Die Förderung erfolgt aus Mitteln des Zweckvermögen des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank.

Deutsche Innovationspartnerschaft  
**dipAgrar**

**Kooperationspartner:**



 **DH Licht**  
Professional Lighting

## Topfrose 'Apache Kordana'

- Natriumdampf-Hochdrucklampe
- Hellrot
- Hellrot und Blau
- Hellrot und Weiß



ca. 65  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$

ViSuELL

## Topfrose 'Flirt Kordana'

- Natriumdampf-Hochdrucklampe
- Hellrot
- Hellrot und Blau
- Hellrot und Weiß

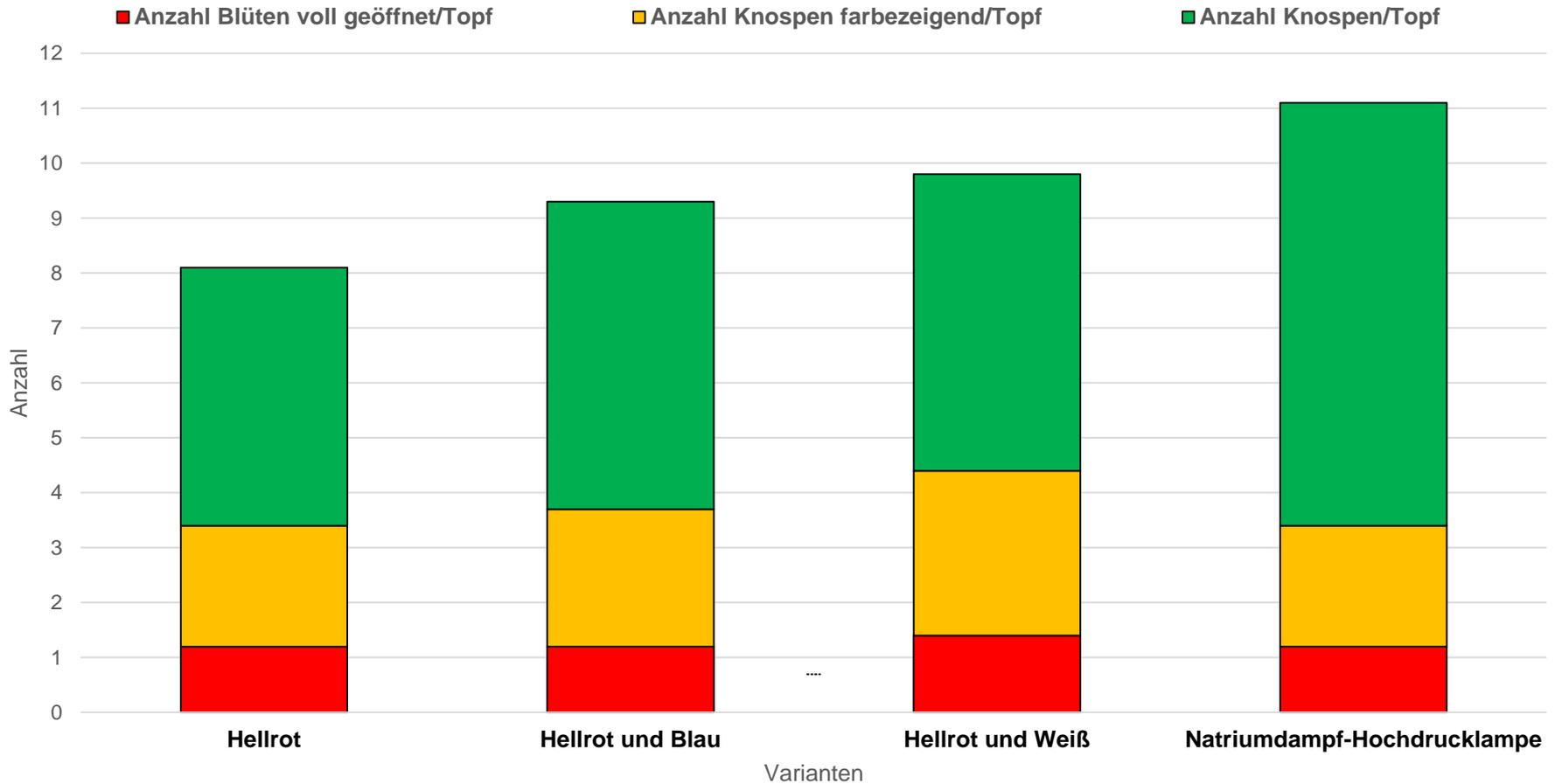


ViSuELL



# Topfrose 'Apache Kordana'

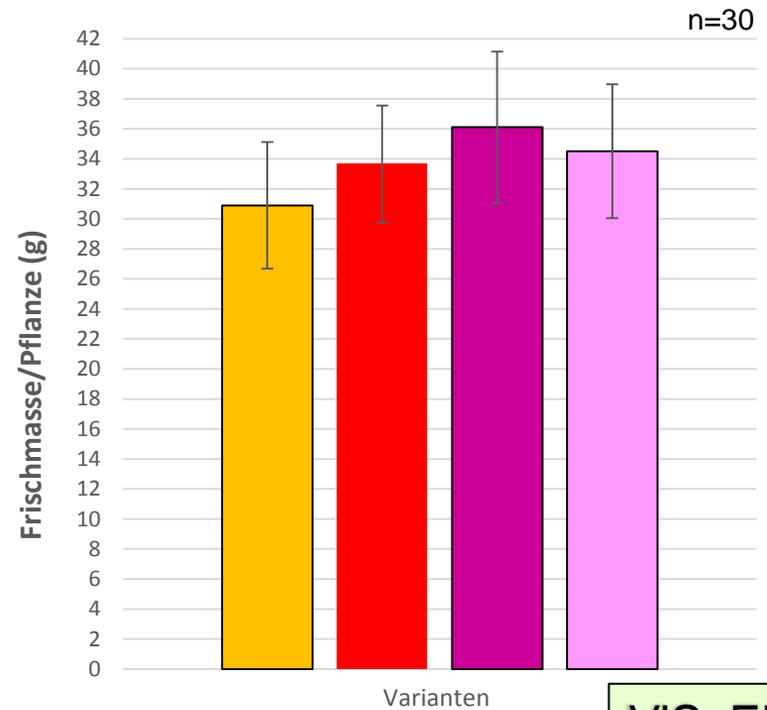
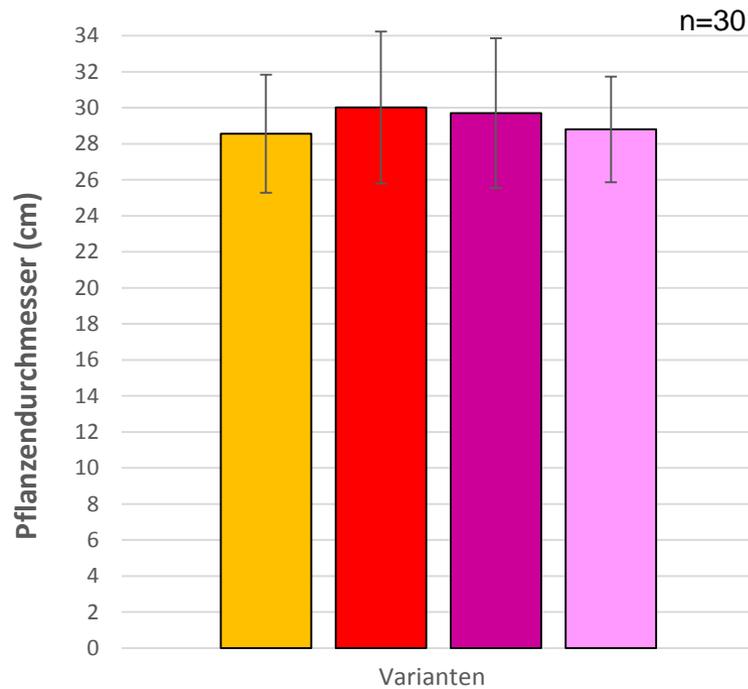
ViSuELL



# Campanula 'Spring Bell Blue'



- Natriumdampf-Hochdrucklampe
- Hellrot
- Hellrot und Blau
- Hellrot, Blau und Weiß



ViSuELL

# Campanula ‚Spring Bell Blue‘

Natriumdampf-  
Hochdrucklampe



LED  
100 % Hellrot



LED  
50 % Hellrot  
50 % Blau



LED  
33 % Hellrot  
33 % Blau  
33 % Weiß



ViSuELL

ca. 65  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$

# Campanula ,Iris'

Natriumdampf-  
Hochdrucklampe



LED  
50 % Hellrot  
50 % Blau



LED  
100 % Hellrot



LED  
33 % Hellrot  
33 % Blau  
33 % Weiß



ViSuELL

ca. 65  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$

# Trockenmasse von Calibrachoa-Stecklingen

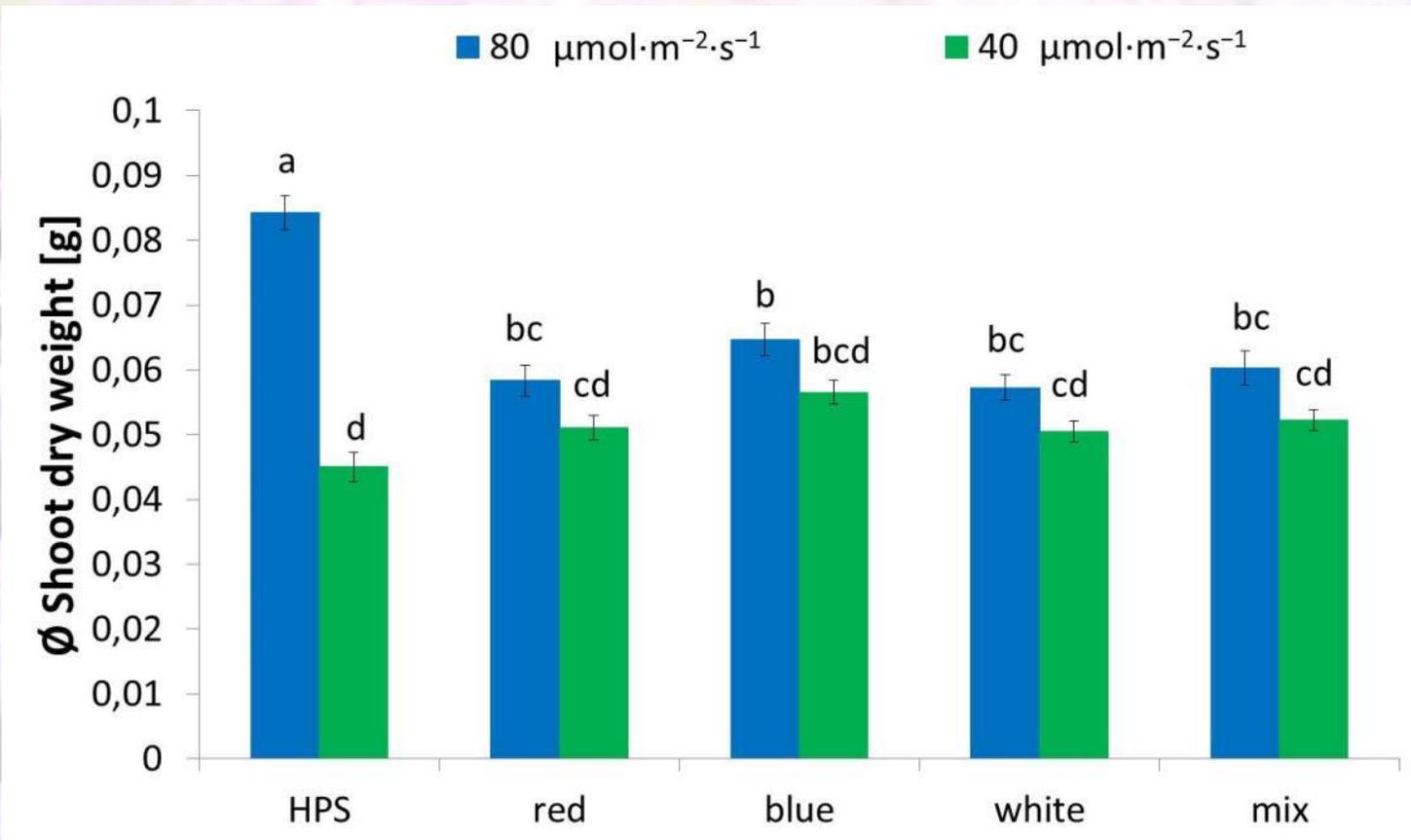


Abb. 25: Durchschnittliches Trockengewicht der Sprosse pro Pflanze (n=30)

# Spezifisches Spektrum für die Photosynthese

LED-Spektren besitzen keine ausgeprägten spezifischen photosynthetischen Wirkungen.  
(„Es gibt keine Wunderphotonen!“)

Photosynthetisch scheint Mischlicht am effektivsten!

... so lange es um Massenbildung und Organbildung geht.

## Photorezeptoren:

**Phytochrome**

**Cryptochrome**

**Phototropine  
ZTL family**

**UVR8 (UV-B)**

### Morphogenetische Prozesse:

- Streckungswachstum
- Habitus
- Seitentriebbildung
- Stomataöffnung
- ...

Phototropismus

Rolle im Photosyntheseapparat:

- Chloroplastenbildung
- Ausrichtung der Pigmente
- circadiane Uhr
- ...

Farbstoff- und  
Inhaltsstoffsynthese

# Beeinflussung des Streckungswachstums

# Streckungswachstum

'Lilac Dark Vein'



KW 8 getopft  
Beleuchtungsdauer: SA-SU



Ohne LED



Blau



Dunkelrot



Hellrot

nach 4 Wochen Differenzbehandlung

ViSuELL

## 'Red 2016'

KW 8/2016 getopft  
Beleuchtungsdauer: SA-SU



ohne LED

Blau

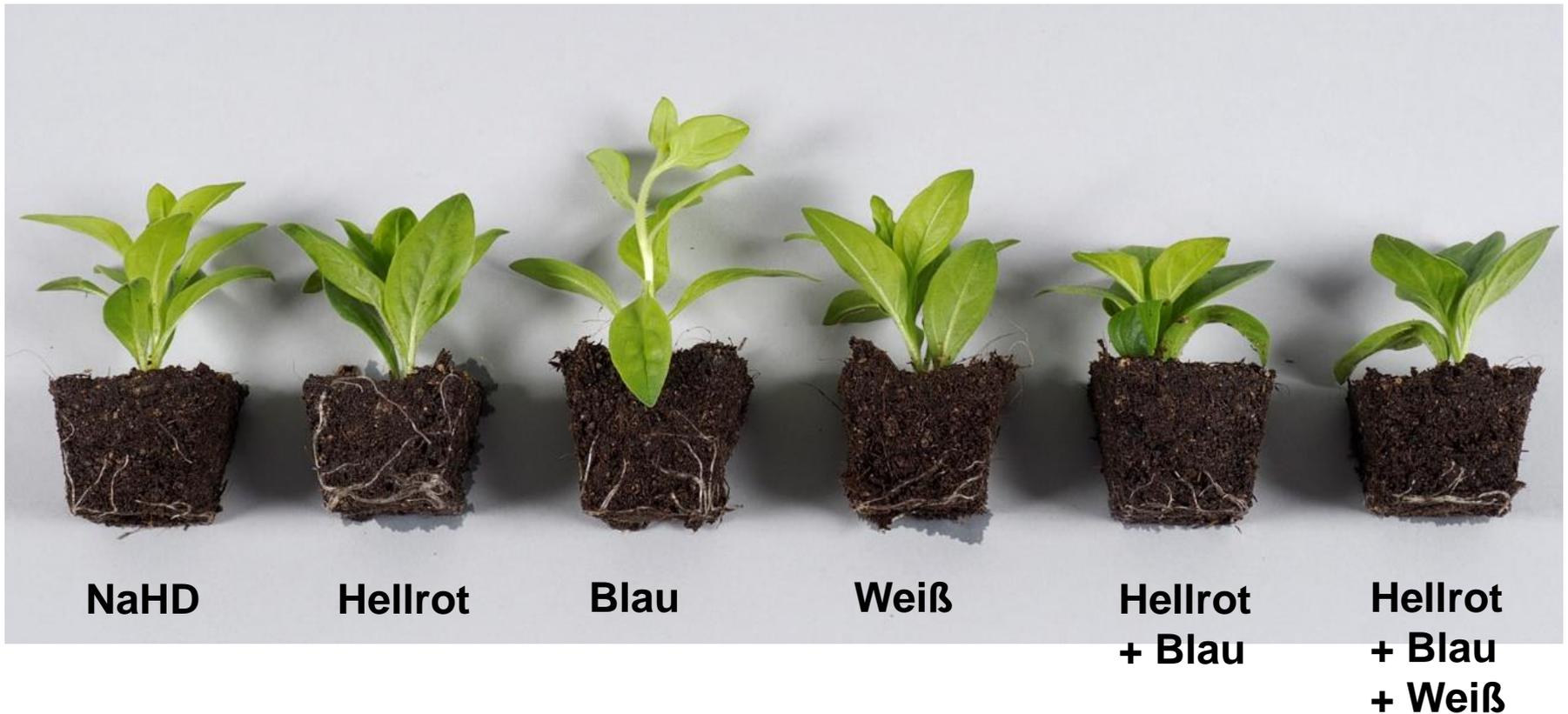
Dunkelrot

Hellrot

zu Versuchsende

# Streckungswachstum

Kunstlichtkammer



# Streckungswachstum

## Sproßlänge von bewurzelten Calibrachoa-Stecklingen



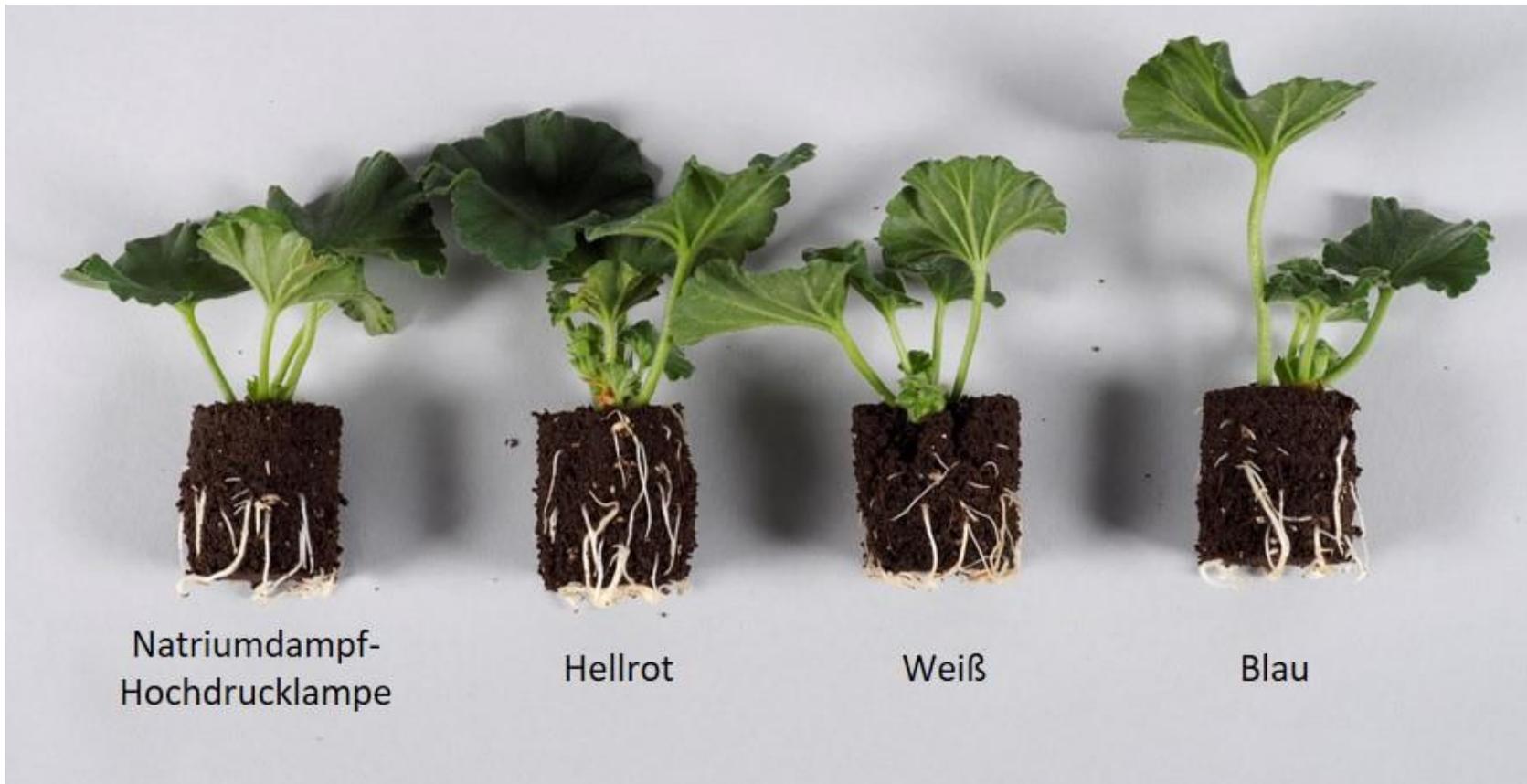
Abb. 10: Vergleich der Lichtbehandlungen mit 80  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  - Klimakammer

Abb. 11: Vergleich der Lichtbehandlungen mit 40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  - Klimakammer

Kunstlichtkammer

# Bewurzelung

‘Linus‘



Natriumdampf-  
Hochdrucklampe

Hellrot

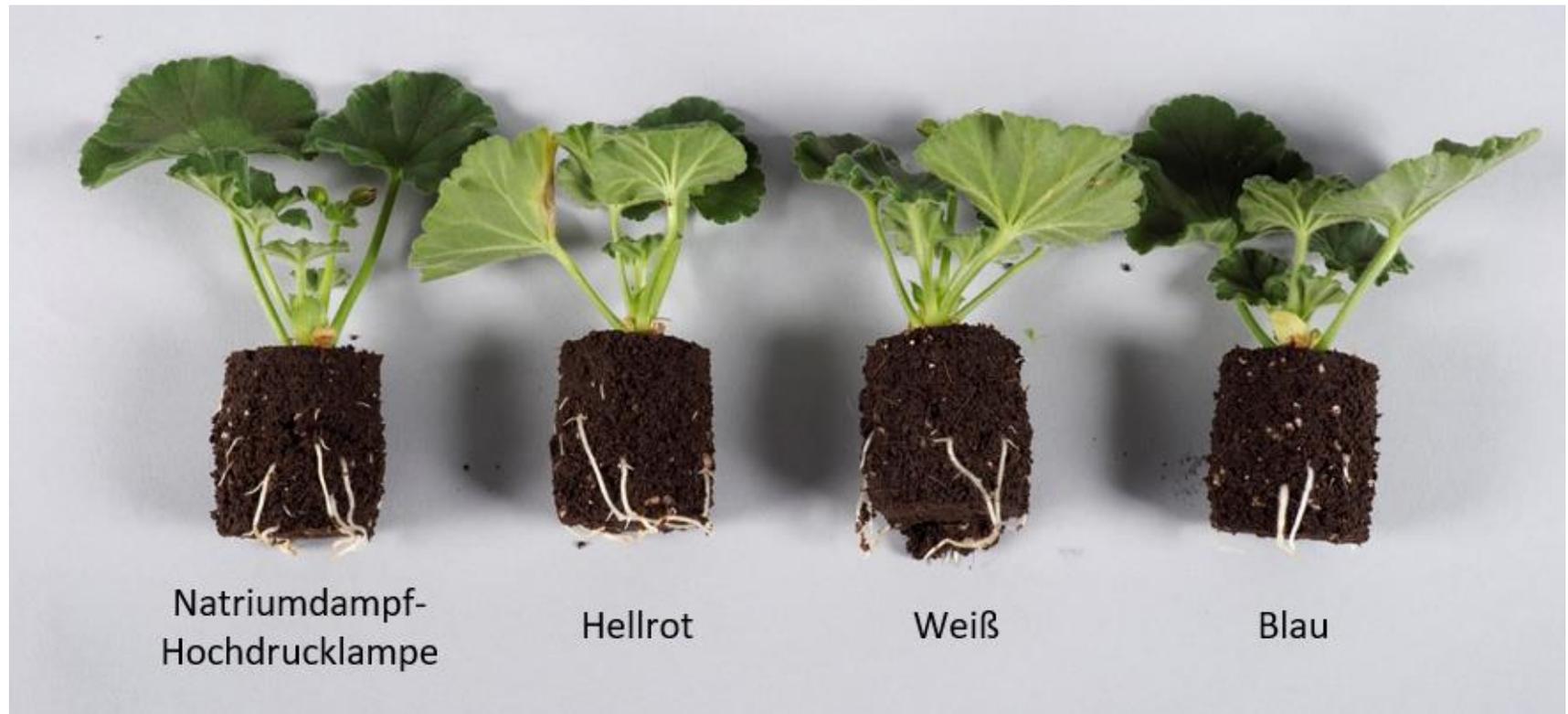
Weiß

Blau

**Gewächshaus**

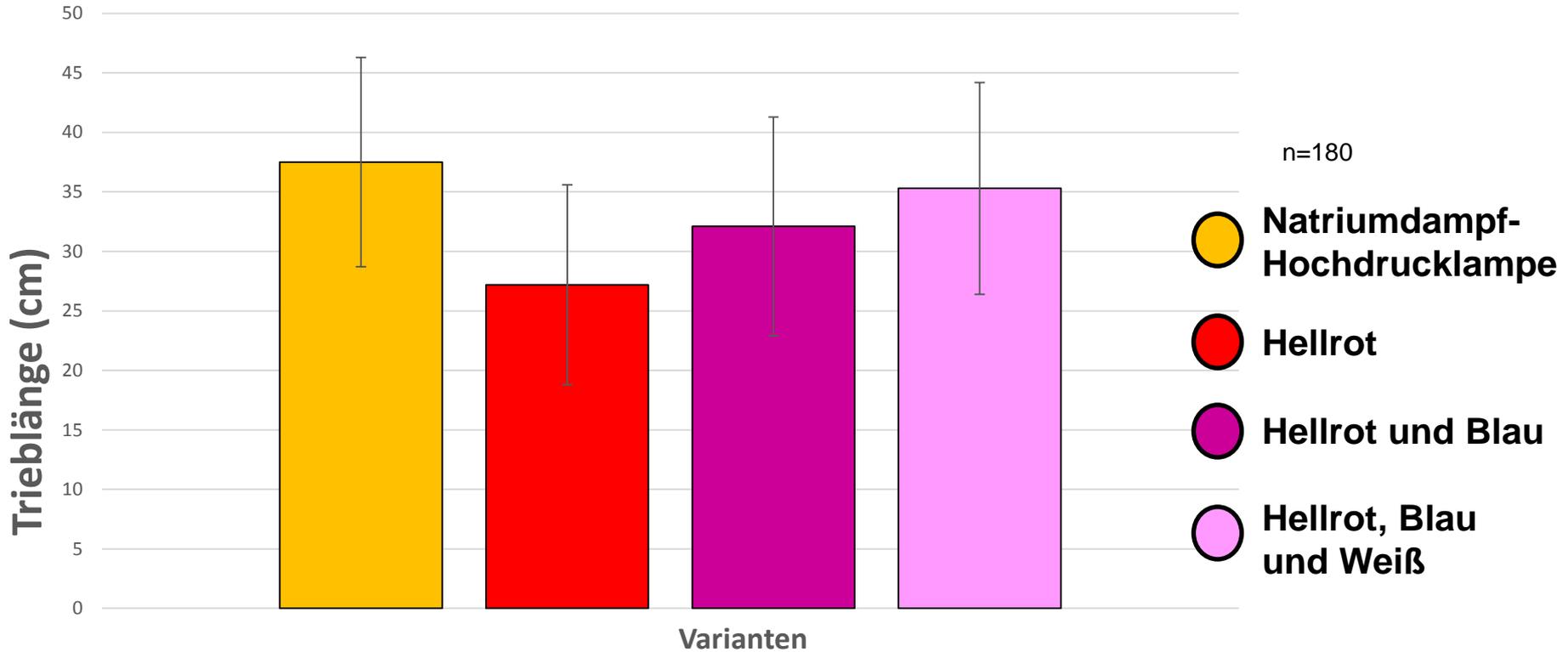
# Bewurzelung

‘Bernd‘



**Gewächshaus**

# Hedera helix 'Pittsburgh'



Trieblänge: Mittelwert der drei längsten Triebe pro Topf

ViSuELL

# *Hedera helix* 'Pittsburgh'

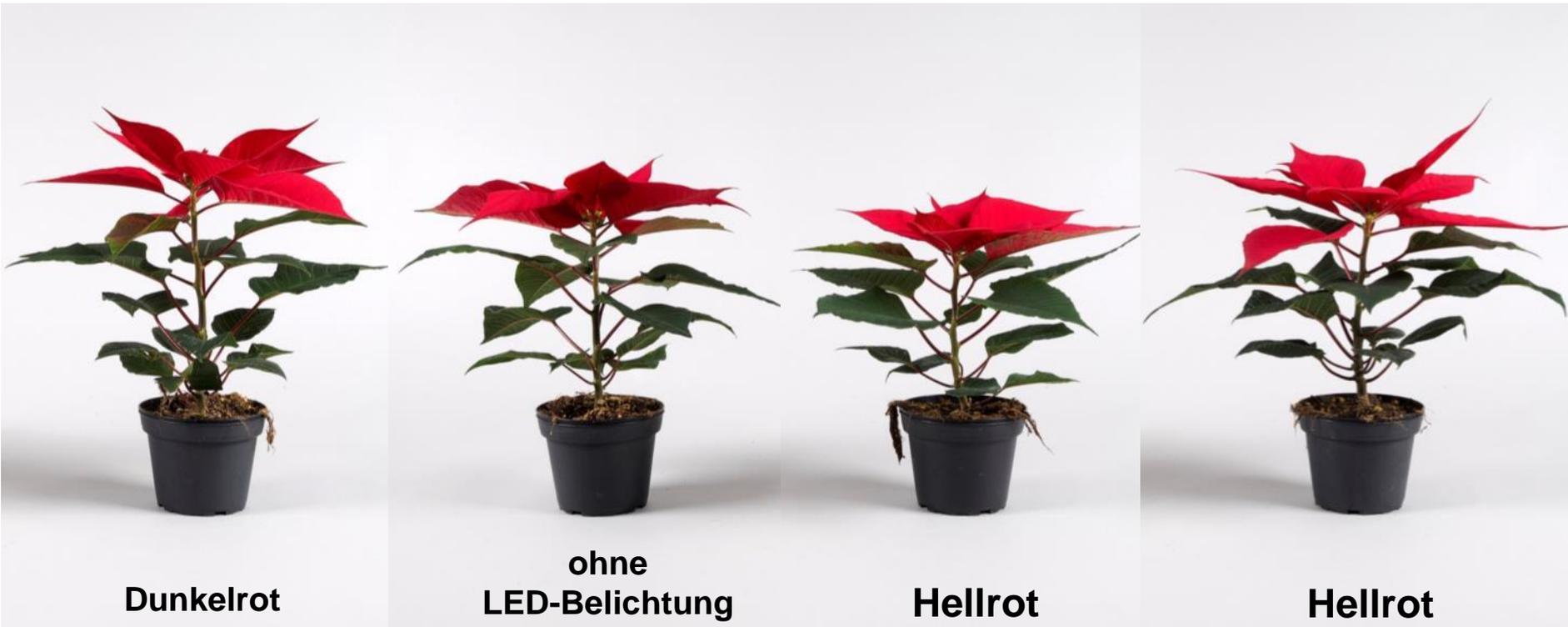


ViSuELL

# Streckungswachstum

'Prima Donna'

KW 36 getopft  
KW 44 bis 48 Belichtung



**Dunkelrot**

**ohne  
LED-Belichtung**

**Hellrot**

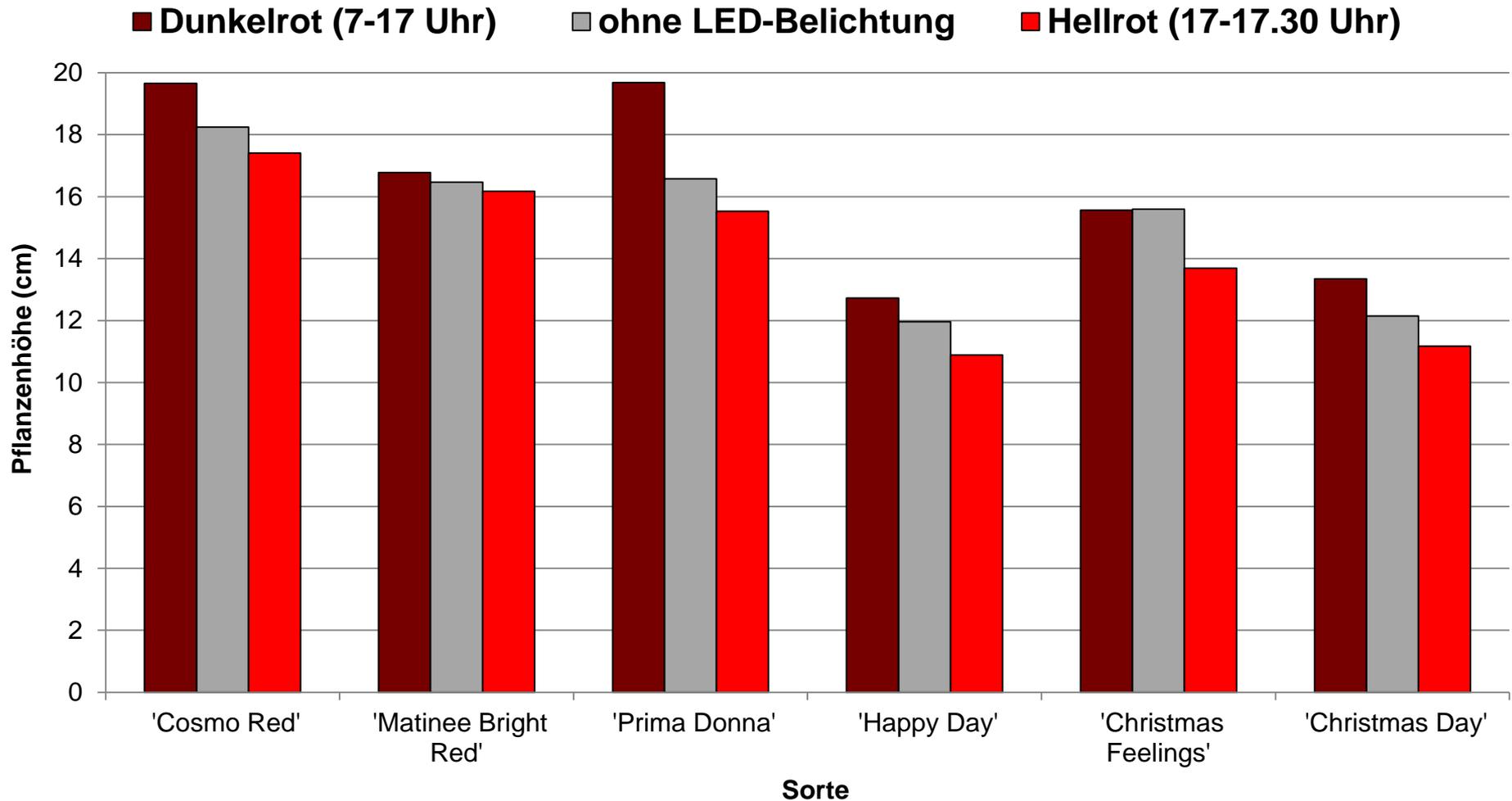
**Hellrot**

**7 bis 17 Uhr**

**17 bis 17.30 Uhr**

**7 bis 17 Uhr**

ViSuELL



## Wie viel Hellrot darf es sein?

'Prima Donna'

Sorte: 'Prima Donna'

KW 31/2016 getopft/KW 31 bis 47/2016 Lichtbehandlung



Kontrolle  
(ohne LED  
ohne Hemmstoffe)

Kontrolle  
(ohne LED  
mit Hemmstoff)

60 Min. nach SU  
50 % Hellrot  
ca. 40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$

60 Min. nach SU  
100 % Hellrot

LED

ViSuELL

# Streckungswachstum

sel **Merry White**

**KW 29 getopft**  
**KW 36 - 48 Belichtung**



ohne LED,  
ohne Hemmstoffe

ohne LED,  
mit Hemmstoffen

60 Min. Hellrot ab SU +  
Hemmstoffe zu Kulturbeginn

60 Min. Hellrot ab SU

**Einsparung von Hemmstoffen möglich!**

ViSuELL

# Streckungswachstum

`Chelsey Yellow`

KW 26/2017 getopft, Belichtung ab KW 28



Kontrolle  
(ohne LED  
**ohne**  
Hemmstoffe)



Kontrolle  
(ohne LED  
**mit** Hemmstoff)



60 Min. nach SU  
**Blau**



60 Min. nach SU  
**Hellrot**

**LED**

## Streckungswachstum

Mit einer **End-of-Day-Behandlung mit Hellrot (660 nm)** für 60 Minuten kann das Streckungswachstum von Poinsettien ähnlich stark gehemmt werden, wie durch den Einsatz von Hemmstoffen.

Die Belichtung von **Petunien mit hellroten LED (660 nm)** von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang hat eine deutliche Hemmung des Streckungswachstums bewirkt.



**`Ospos`**



**ohne**



**mit  
Hemm-  
stoff**

**Hellrot**

**Hellrot+Blau  
1:1**

**Blau**

**NadHd**

3 Wochen nach Treibbeginn

## Durchschnittl. Anzahl Geiztriebe (> 2 cm) pro Pflanze

Variante	Ohne Hemmstoff	Mit Hemmstoff
Hellrot	2,0	1,0
Hellrot + Blau	1,2	0,7
Blau	2,1	1,2
Natriumdampf-Hd	1,9	0,8

Zu Versuchsende, 4 Wochen nach Treibbeginn

## Status Quo 2018

---

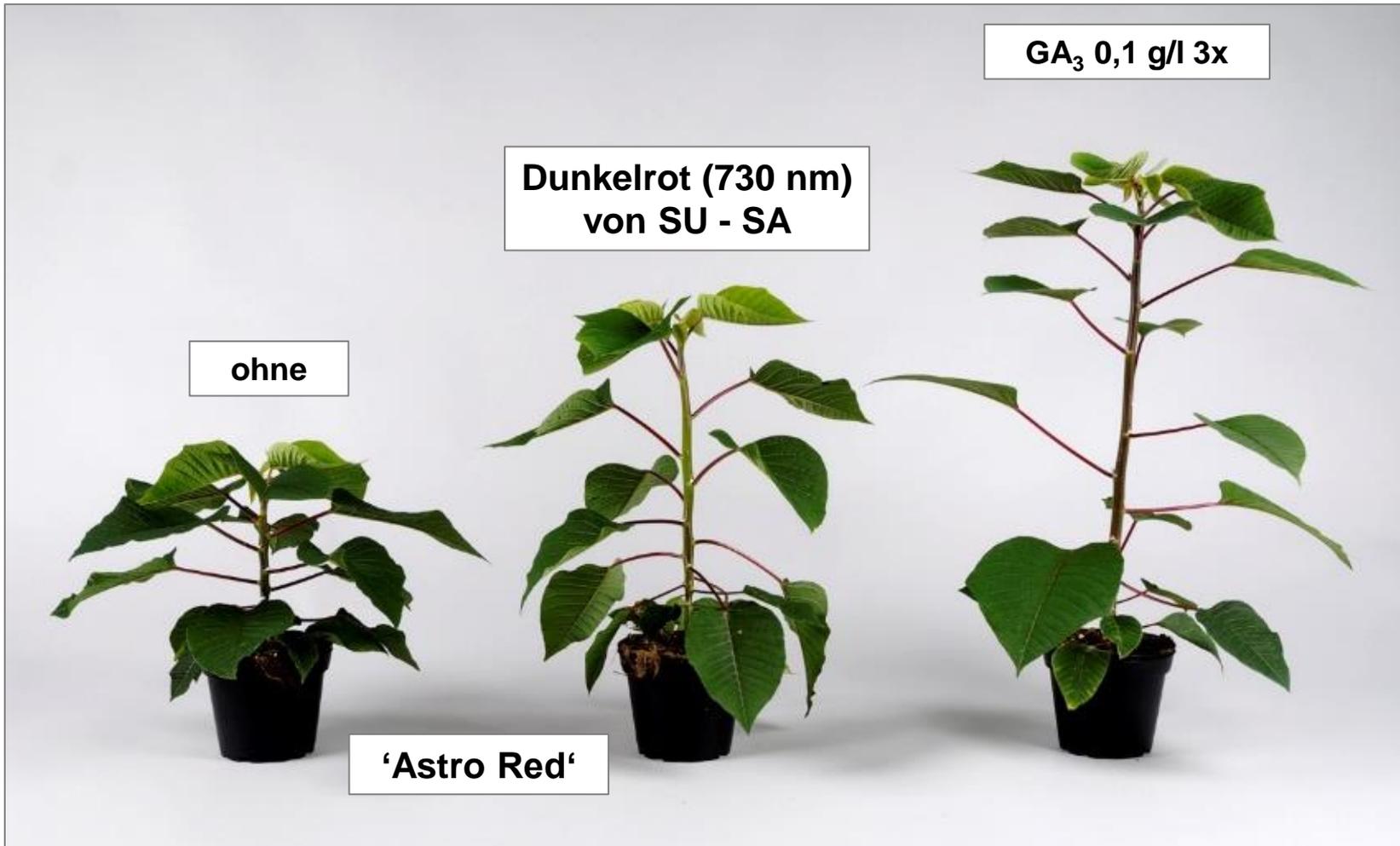
- **Vielfältige spezifische** pflanzenphysiologische Steuerungsmöglichkeiten sind denkbar und zum Teil erprobt.
- **Hellrotlicht** (660 nm) **hemmt** überwiegend das Streckungswachstum!
- **Blaulicht** (440 nm) **fördert** eher das Streckungswachstum!
- **Dunkelrotlicht** (730 nm) **fördert** das Streckungswachstum **stark!**

**Ausnahmen bestätigen die Regel!**





# Licht statt GA<sub>3</sub>... Versuch 6/2016



## Ausfärbung Cryptanthus



Blauanteil nimmt zu



**Bert Schamp**  
Research Centre for Ornamental Plants - Belgium

## Ausfärbung *Neoregelia schultesiana*



100 % Hellrot

33 % Hellrot  
33 % Blau  
33 % Weiß



Ohne  
Zusatzlicht



100 % Blau

ViSuELL

## 'Early Blue'



Natriumdampf-  
Hochdrucklampe

Hellrot

Hellrot und Blau

Blau

55  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$  für 16 h/d

'Wudu'



Natriumdampf-  
Hochdrucklampe



Hellrot



Hellrot und Blau



Blau

55  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$  für 16 h/d

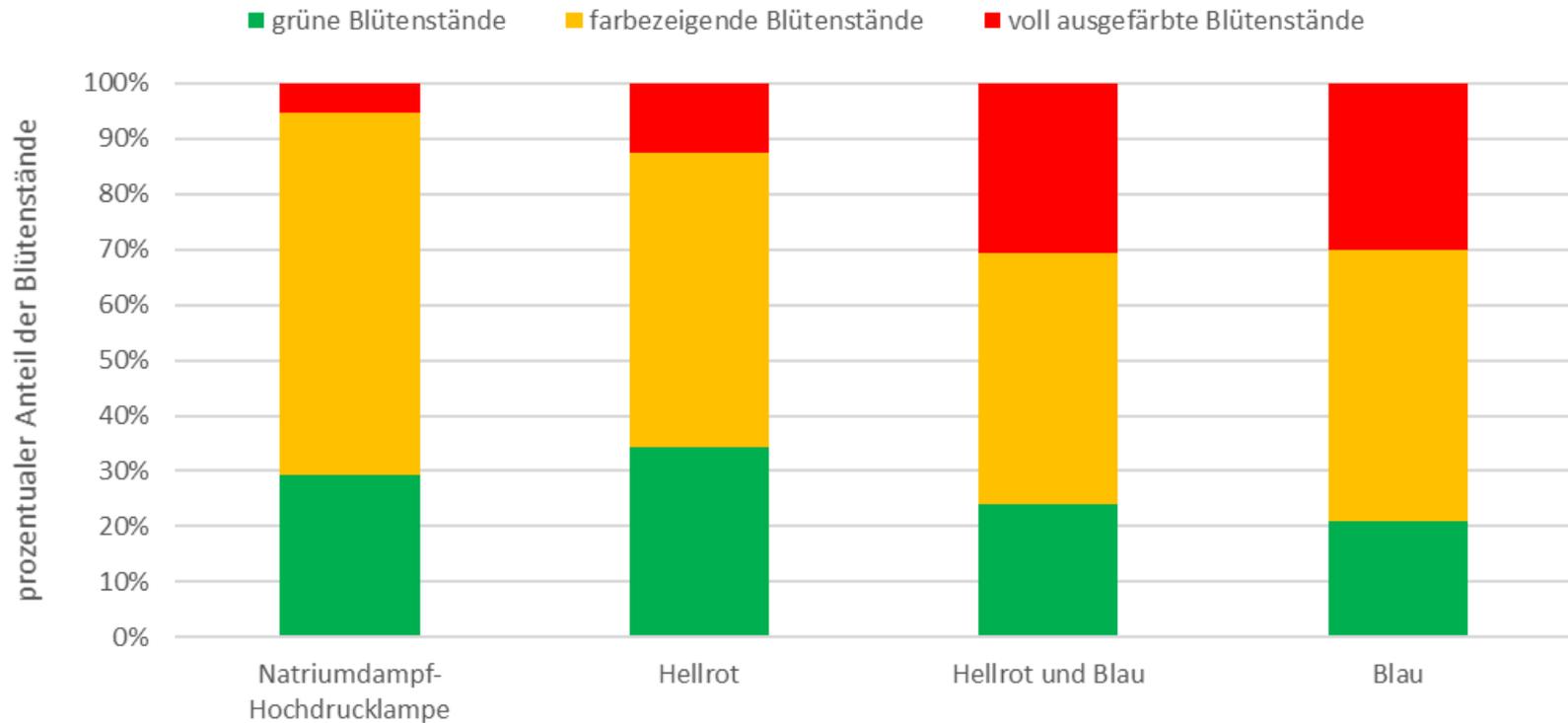


Abb. 2: Anteil der grünen, farbezeigenden und voll ausgefärbten Blütenstände je Belichtungsvariante der Sorte 'Schneeball' zu Versuchsende.

Flower spikes in 40% blue in red (left) and red (right)



Anthocyanins in 40% blue, not in red

Eva Rosenqvist, GreenGrowing Meeting, Belgium 21-22 October 2013

18



Natriumdampflampe vs. Keramik-Metallhalogendampf

Son-T 400 - CHD-Agro 400

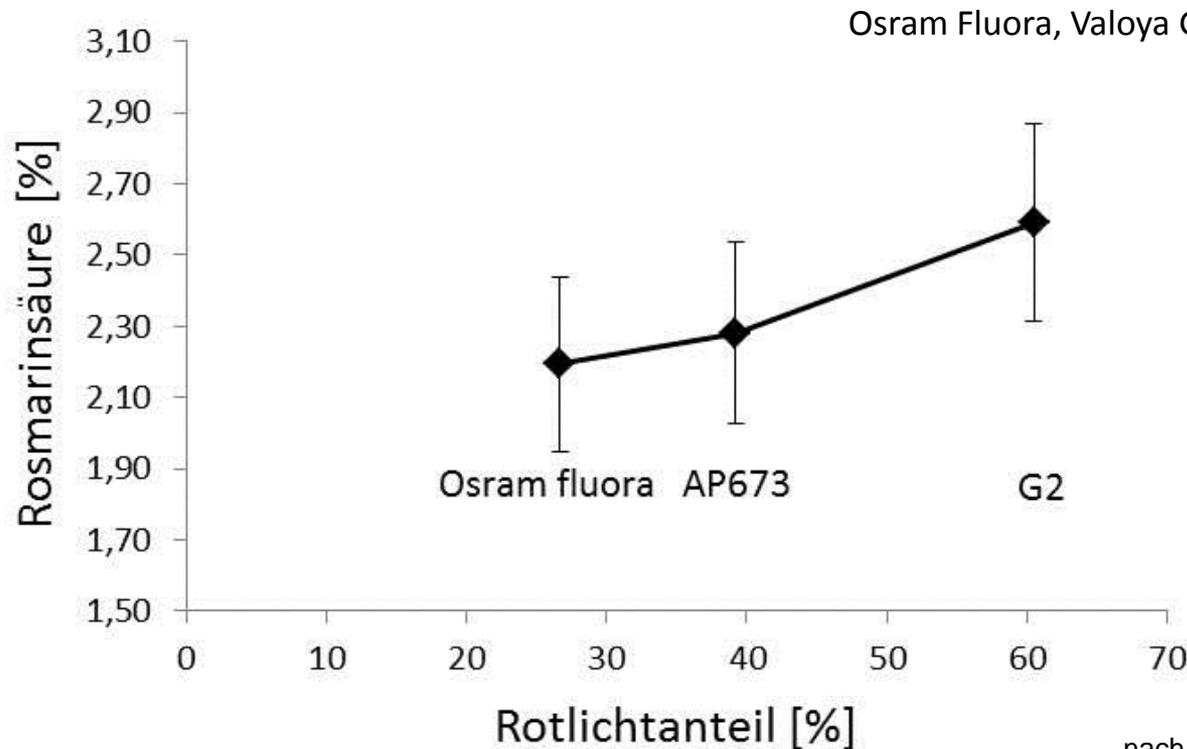


Son-T 400 - CHD-Agro 400



# Qualität: Inhaltsstoffe

## Rosmarinsäuregehalt in Basilikum



## LED-Licht soll Erdbeeren geschmackvoller und gesünder machen



Erdbeeren sind allseits beliebt. Sie sehen gut aus, schmecken lecker und enthalten viel Vitamin C.

Nun haben Wissenschaftler der Wageningen UR Greenhouse Horticulture in Bleiswijk/NL einen Weg gefunden, sie noch wohlschmeckender zu machen und ihren Gehalt an Antioxidantien zu steigern. Und das nachhaltig. Der Trick? Die Erdbeeren werden mit LED-Leuchten belichtet.

Eines der Gewächshäuser des neueröffneten Innovations- und Demo-Centers (IDC) in Bleiswijk duftet intensiv nach Erdbeeren. Vier verschiedene Sorten, 'Elsanta', 'Sonata', 'Darselect' und 'Honeoye', werden hier angebaut. Sofort fallen die LED-Leuchten auf, die über den Pflanzen hängen. Wissenschaftler Jan Janse erläutert: „Hier zeigen wir Anbauern, Beratern und Züchtern, auf welche Weise die Fruchttextur und der Geschmack von Erdbeeren durch die Belichtung mit LED beeinflusst werden kann.“

### Verschiedene Lichttypen

Jan Janse und seine Kollegen erforschen gerade, welche Belichtungsstrategie bei welcher Erdbeersorte die besten Ergebnisse bringt. Dafür werden die Pflanzen auf verschiedene Weise belichtet. In einigen Reihen kommt das Tageslicht herein und wird durch LED-Leuchten ergänzt, die an der Gewächshausdecke hängen. In anderen Reihen hingegen hängen die LED-Lampen 30 cm über den Erdbeerpflanzen. Und dann gibt es auch noch eine spezielle Zwischenbelichtung, die sowohl auf die Blätter als auch auf die Früchte fokussiert ist.

### Geschmackstests

Verschiedene Daten werden direkt nach der Ernte an den Früchten erfasst: „Wir bewerten Parameter der inneren Qualität wie Zucker- und Säuregehalt, Saftigkeit, Festigkeit und den Gehalt an Antioxidantien“, erläutert Jan Janse. „Außerdem führen wir umfangreiche Verkostungen durch. Dafür können wir auf ein großes Verbraucherpanel und ein Panel aus trainierten Experten zurückgreifen.“





## UV-B Strahlung unterdrückt Echten Mehltau an Gurken



**1 W/m<sup>2</sup>**

**10-15 Minuten**



## LED als photoperiodisches Licht



11 h Assimilationslicht + 6 h LED

Blau

Hellrot

Dunkelrot

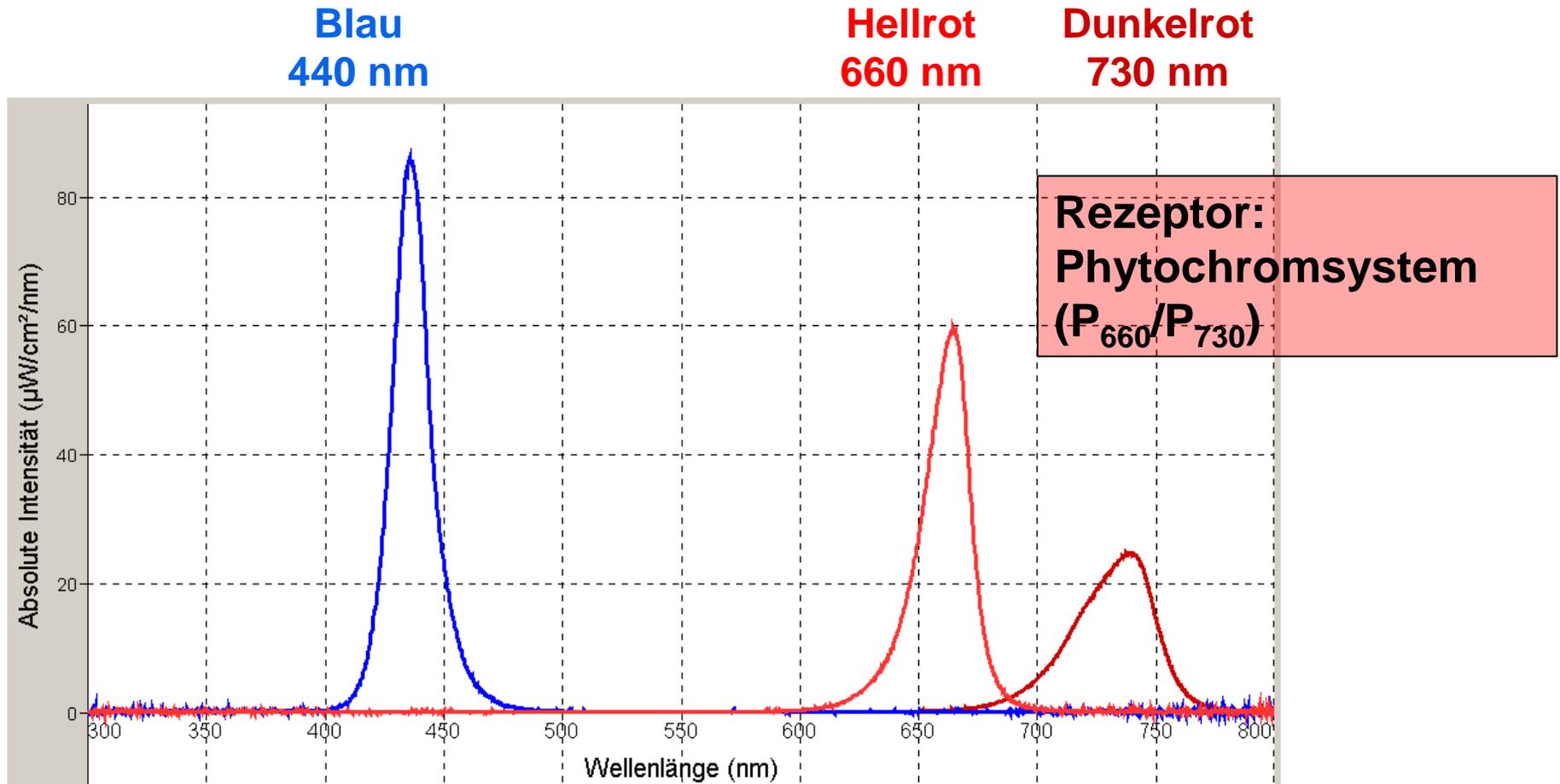


**Dunkelrot (730 nm)**

**Hellrot (660 nm)  
Weiß**

**Hellrot (660 nm)  
Weiß  
Dunkelrot (730 nm)**



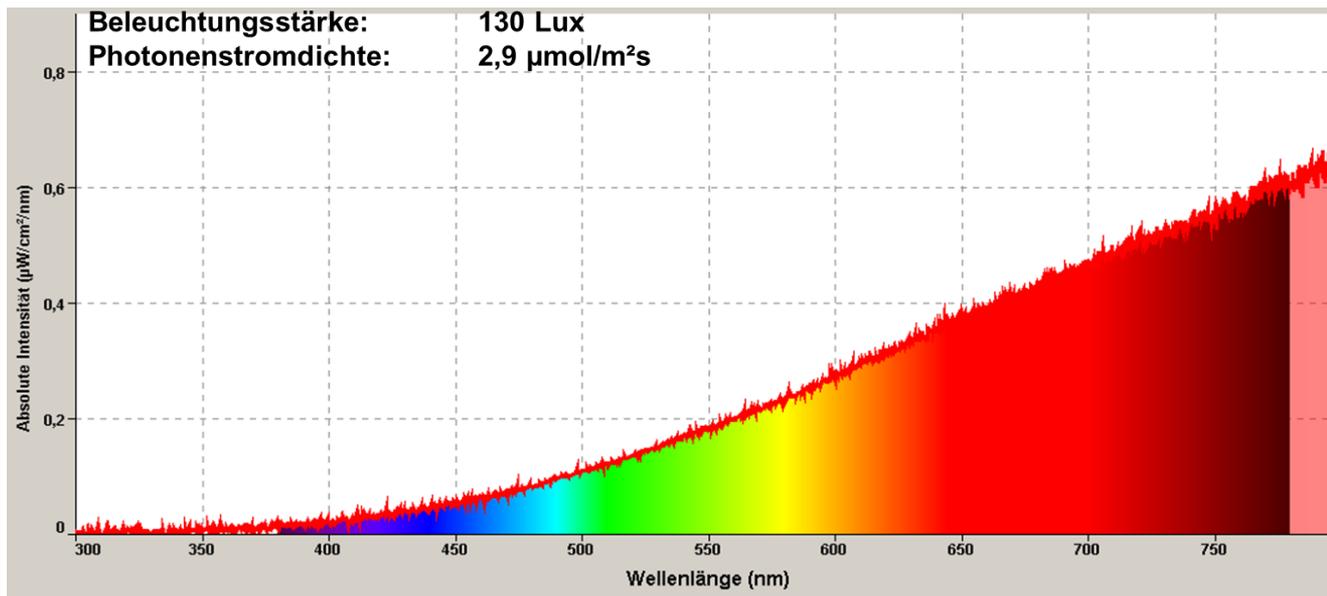


## Glühlampe

Hersteller: Osram  
Bezeichnung: Klar  
Leistung: 100 W, 1340 lm  
Spektrum: Weiß

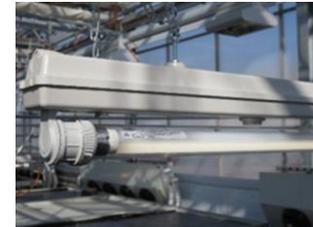


Intensität (gemessen 1 m unter der LED):

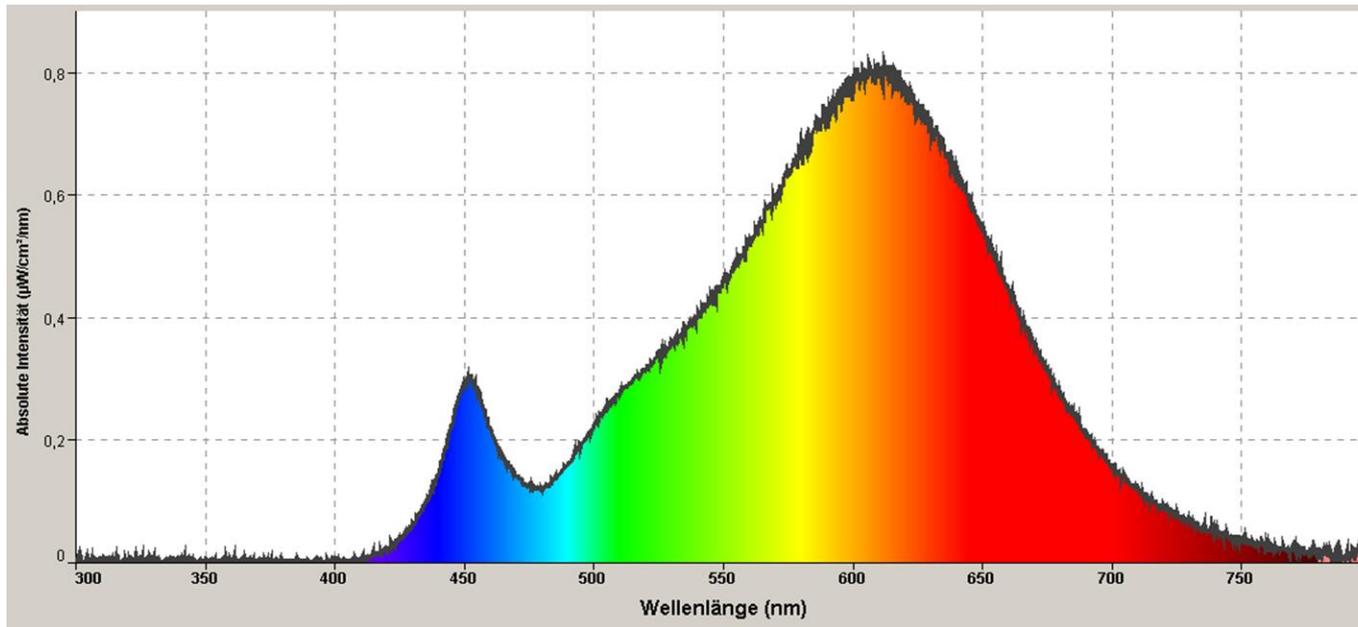


## Ersatz für Glühlampen

„Spezial-LED oder einfache Retrofit?“

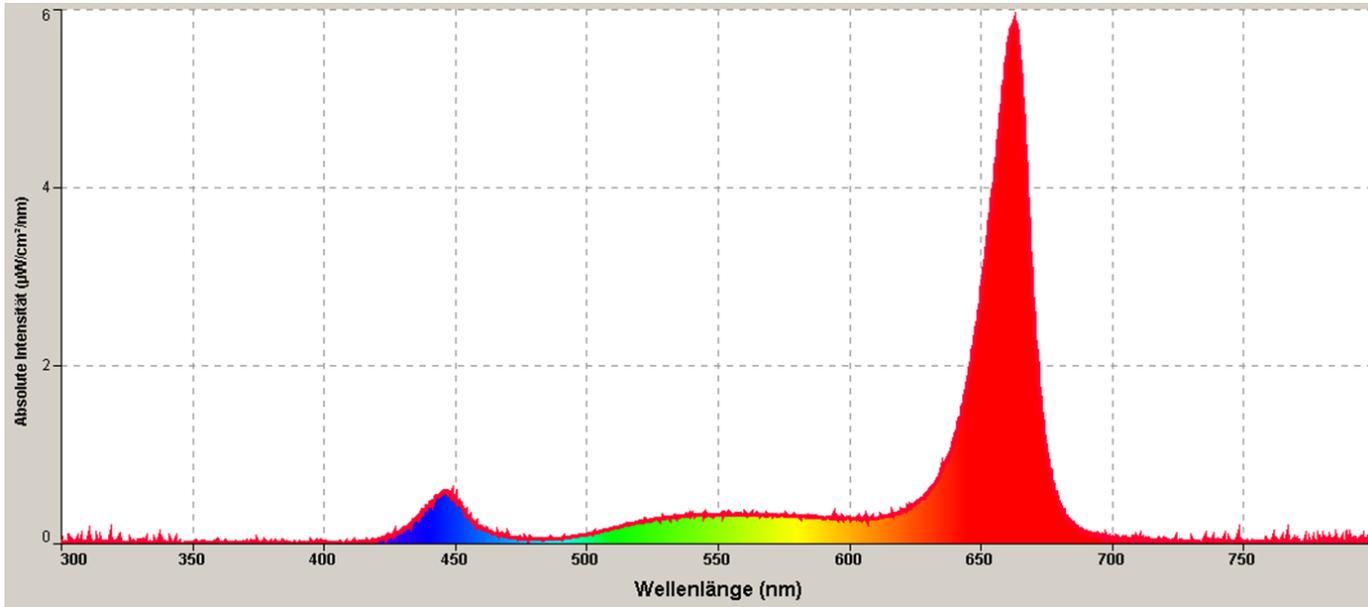


## Retrofit-LED zur Wohnraumbelichtung



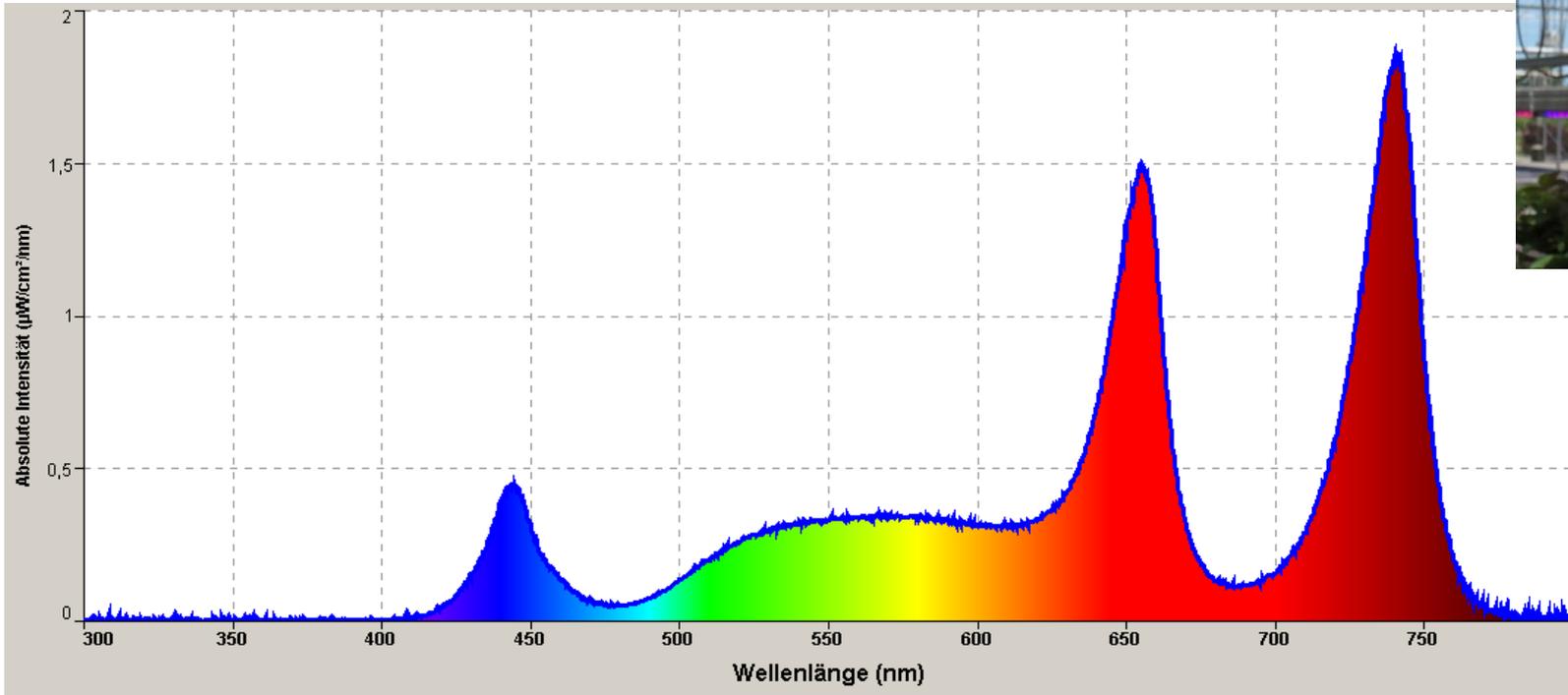
Paulmann 806 Im, 2700 K, 110°, 10 W

## Spezial-LED für den Gartenbau



Philips GreenPower Flowering Lamp, 18 W,  
Hellrot (660 nm) / Weiß

## Spezial-LED für den Gartenbau



**Civilight BR40 Strawberry, 100°, 15 W**

## LT-Belichtung



# LT-Belichtung



## LT-Belichtung bei Petunien

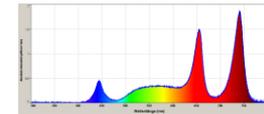
Abstand von der LED:

6 m

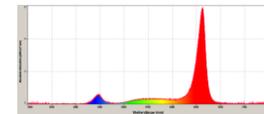
3 m

0,5 m

Civilight BR 40  
Strawberry 15 W



Philips Flowering  
Lamp DR/W



# LT-Belichtung bei Petunien

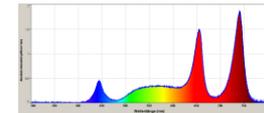
Abstand von der LED:

6 m

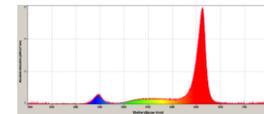
3 m

0,5 m

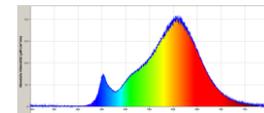
Civilight BR 40  
Strawberry 15 W



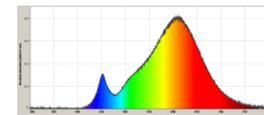
Philips Flowering  
Lamp DR/W



Müller LED 810 Im



Paulmann 806 Im, 110°



## Grenzwert für photoperiodische Belichtung:

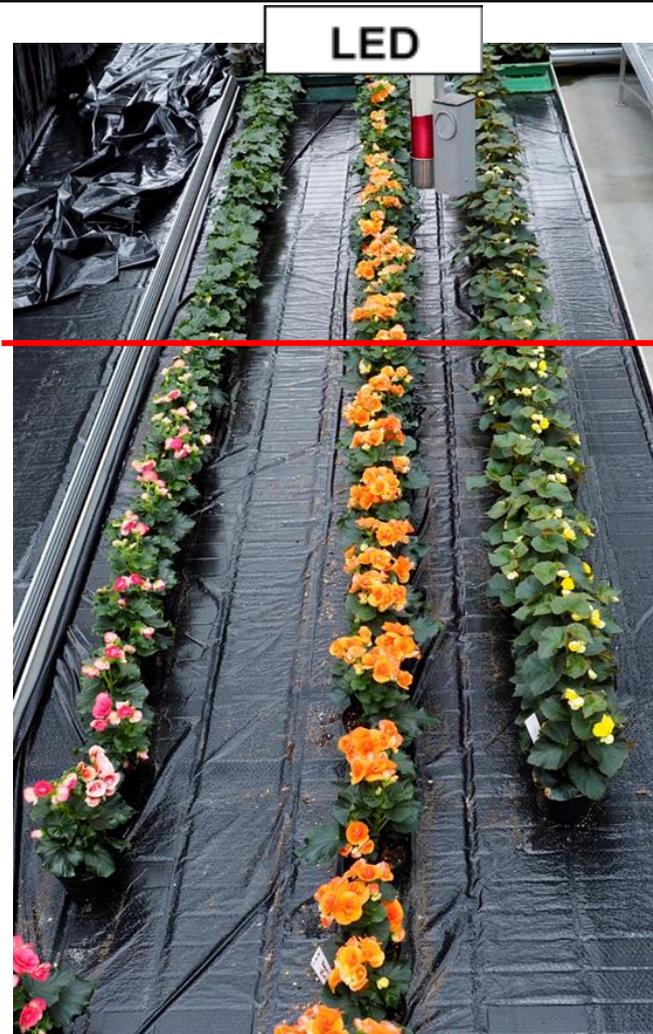
### Verfrühung der Blüte

bei Überschreitung eines Schwellenwertes von **0,20  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$**  für eine LED mit nennenswertem Hellrotanteil (660 nm) und einem Dunkelrotanteil (730 nm).

Ausschließlich Hellrot (660 nm) ohne Dunkelrot (730 nm) scheint weniger wirksam bei Calibrachoa und Petunien.



## LT-Belichtung bei Begonien



## LT-Belichtung bei Begonien

**Philips GreenPower  
Flowering Lamp, DR/W, 18 W**



**Paulmann 806 Im,  
2700 K, 110°, 10 W**



**Philips Master LEDtube Value UO,  
18 W, 1200 mm, 840**



**Philips GreenPower PM  
DR/W 120 LB, kontinuierlich**



**Philips GreenPower PM  
DR/W 120 LB, Intervall**



6 m

direkt unter  
der LED



TL

10 h

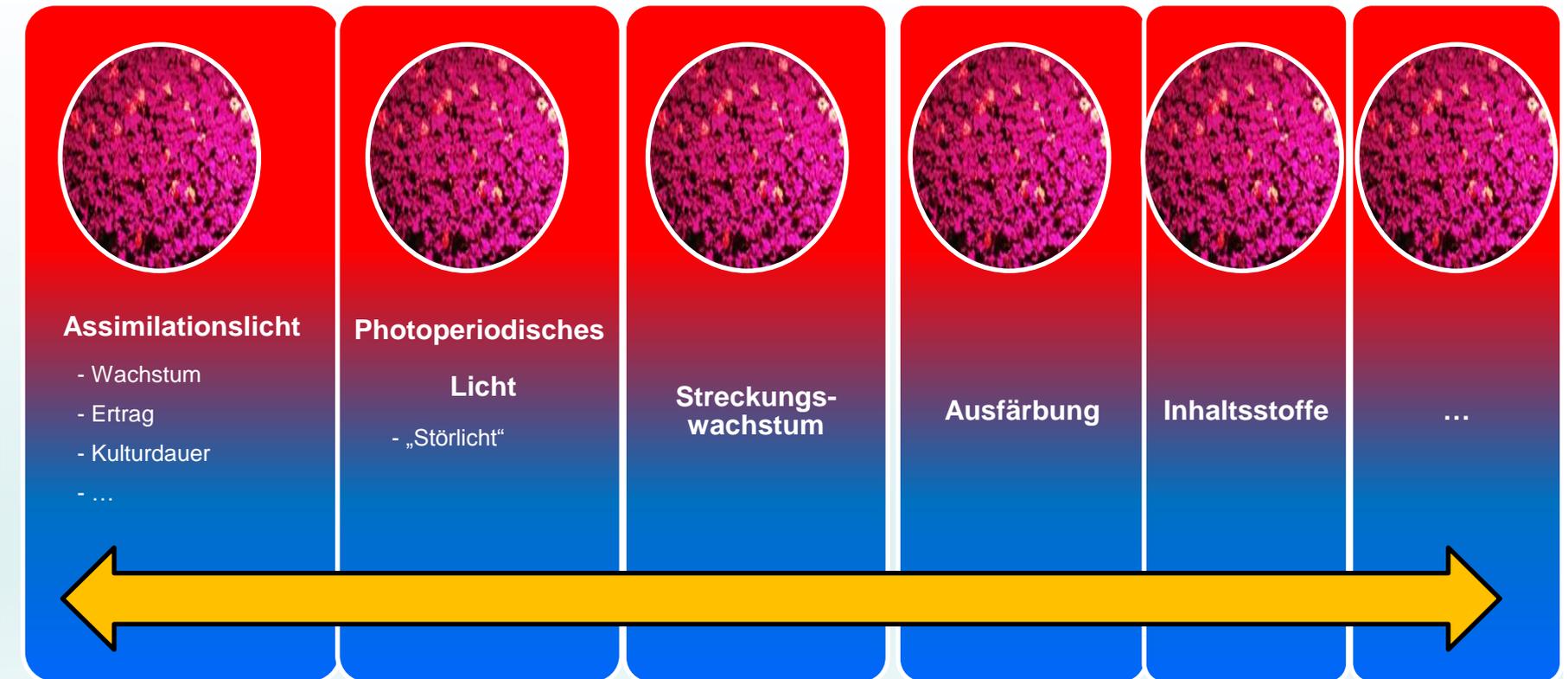
10 h  
+ 4 h SL-R

10 h  
+ 4 h LED FR

730 nm



# Wachstum steuern mit Licht!!!



A multi-tiered indoor grow room with rows of potted plants. The room is illuminated with red and blue LED lights. The plants are arranged in rows on a metal frame. The text "Vielen Dank!" is overlaid in the center.

**Vielen Dank!**