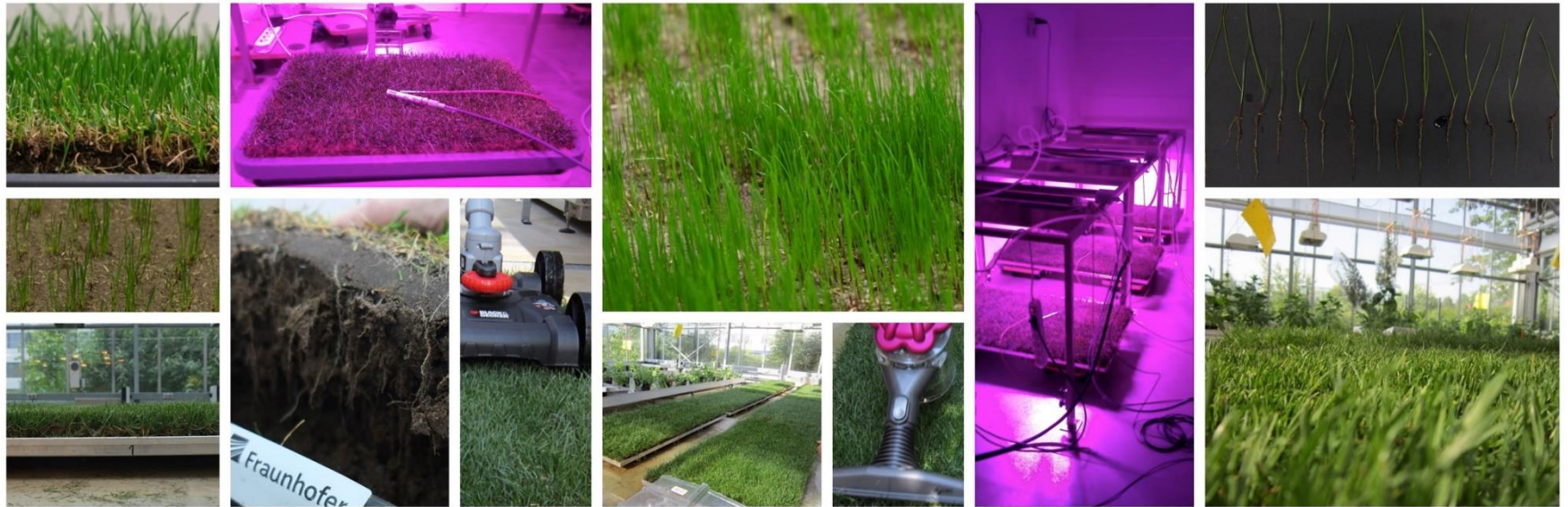


LED it grow

LED-Belichtung von Sportrasen – Möglichkeiten, Chancen, Grenzen

31. August 2016; Dr. Stefan Rasche



Warum LEDs?

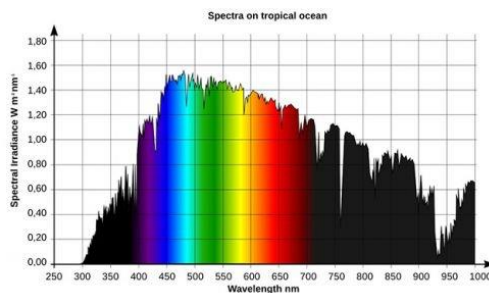
Vergleich mit anderen Leuchtmitteln

■ Metaldampf Lampen

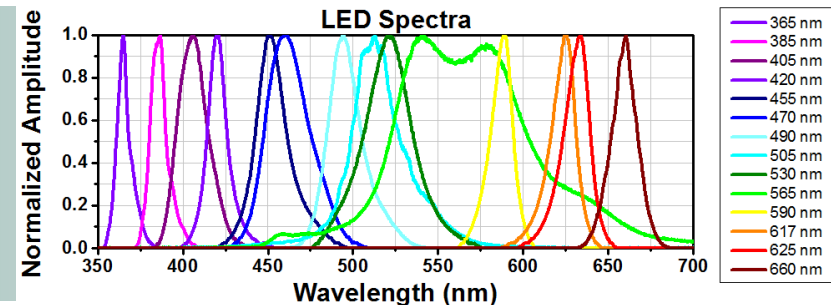
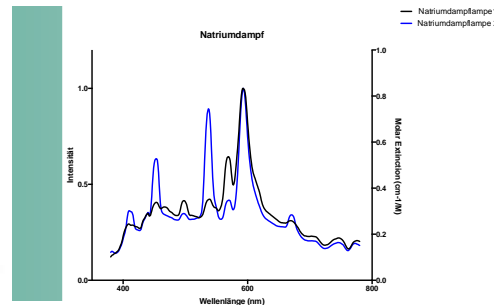
- Gute Farbausbeute
- Tageslichtähnliches Spektrum
- Starker Wärmestrahler
- gute Energieeffizienz
- Stoßempfindlich

■ LEDs

- Lichtspektrum individuell auswählbar
- kein Wärmestrahler
- gute Energieeffizienz -> noch ausbaufähig
- Lange Lebensdauer
- Stoßfest



<http://www.reefill.com/images/cms/data/1.jpg>

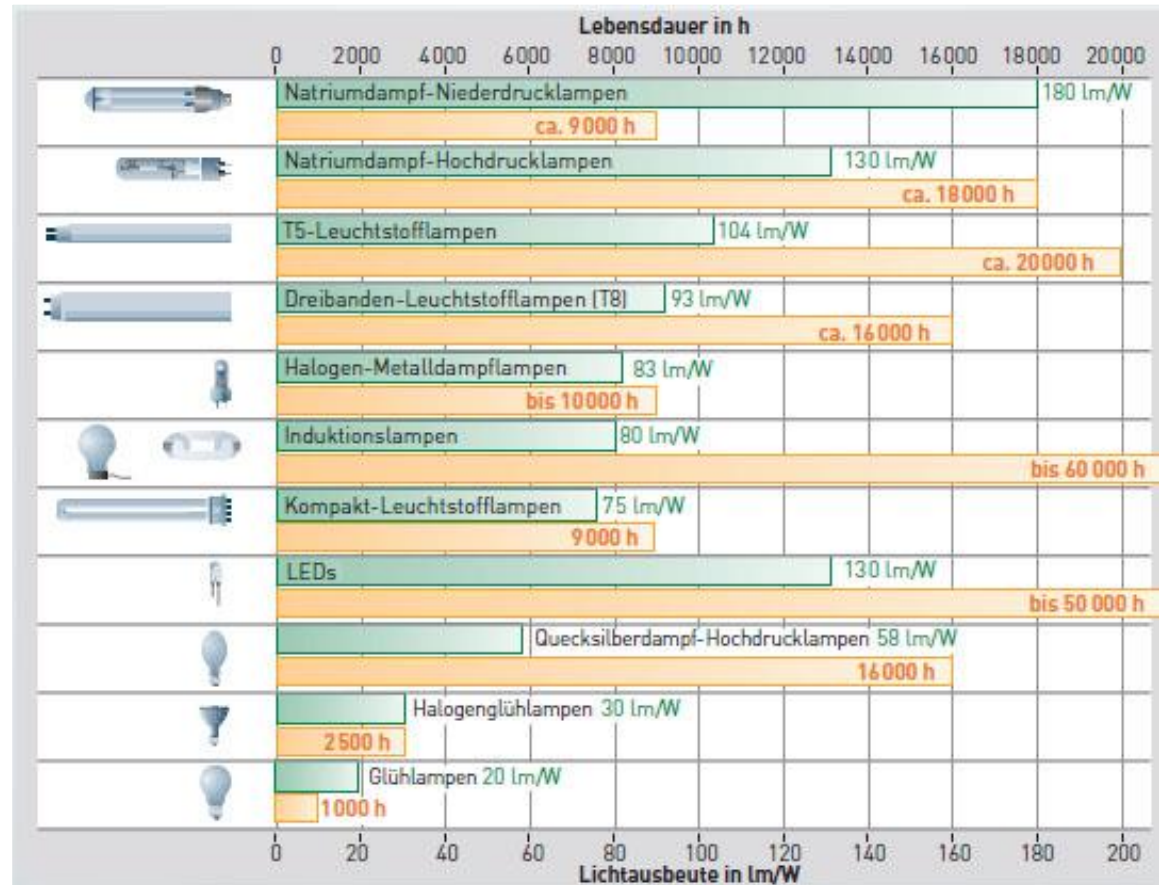


http://www.thorlabs.com/images/TabImages/LED4D_AiLED_Spectra.gif

Warum LEDs?

Vergleich mit anderen Leuchtmitteln

3

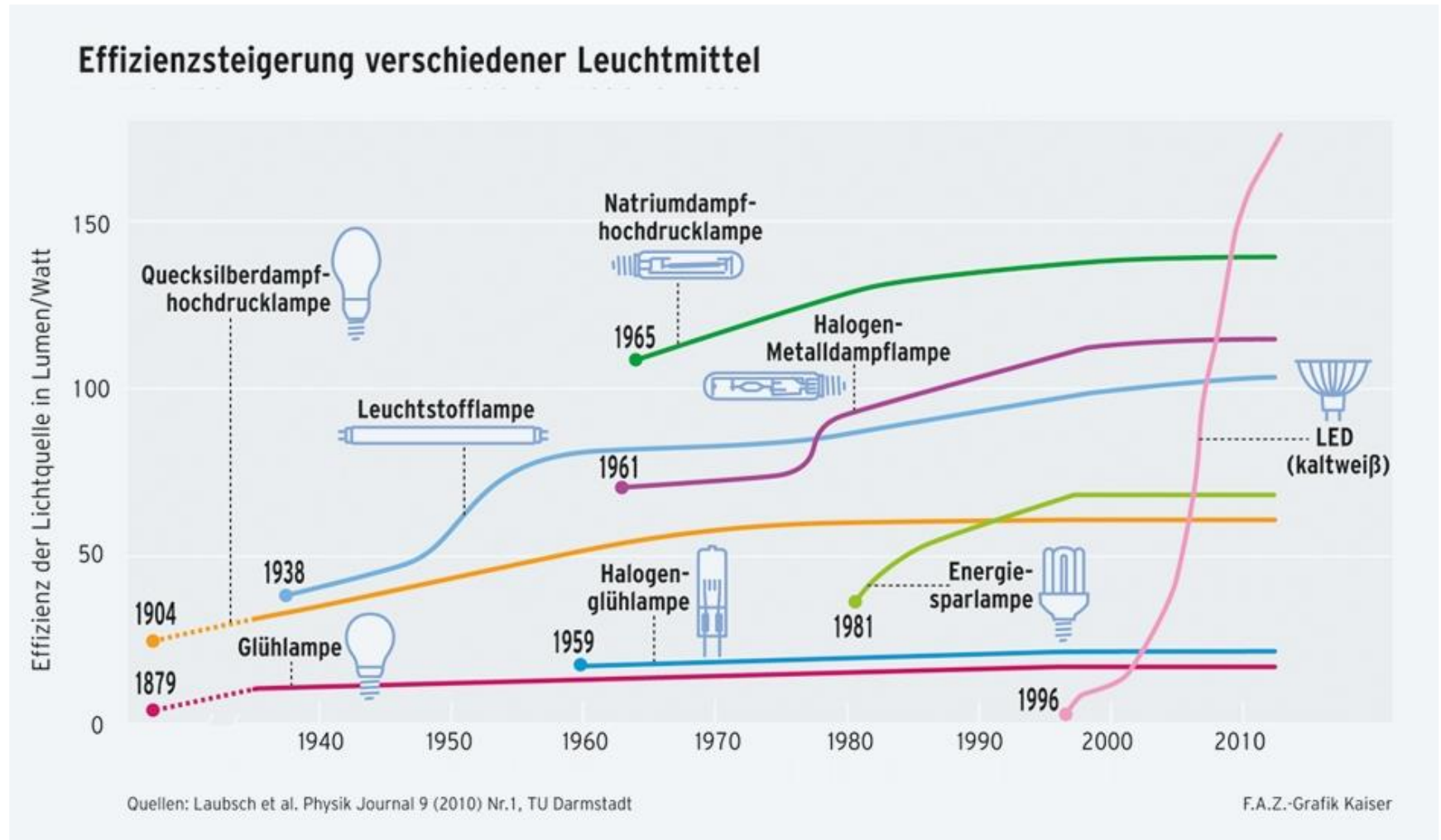


https://wiki.watt24.com/images/c/ca/Lichtausbeute_verschiedener_Lampen.jpg

Warum LEDs?

Entwicklungspotential in der Effizienzsteigerung

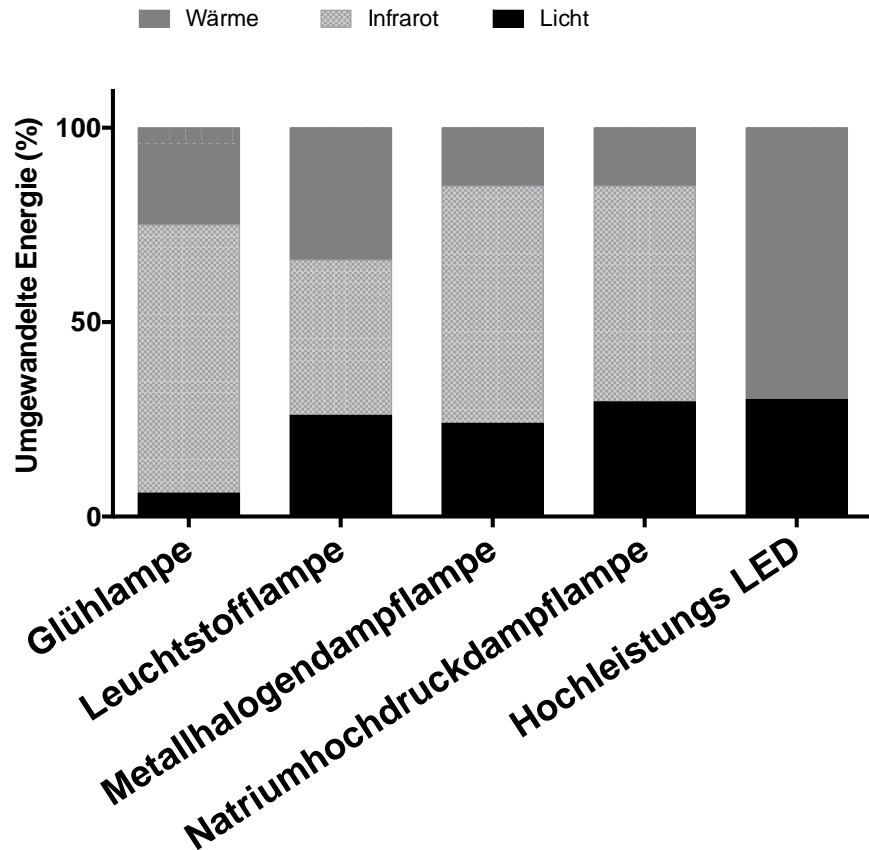
4



Warum LEDs?

Energiebilanz

5



■ Energieeffizienz von LEDs und Natriumdampflampen nahezu identisch (ca. 30%)

- LEDs haben noch Entwicklungsspielraum, zudem emittieren sie keine Infrarotstrahlung.
- Aber: Starke Abwärme, Kühlung ist erforderlich. Leistungseinbußen bei hohen Temperaturen

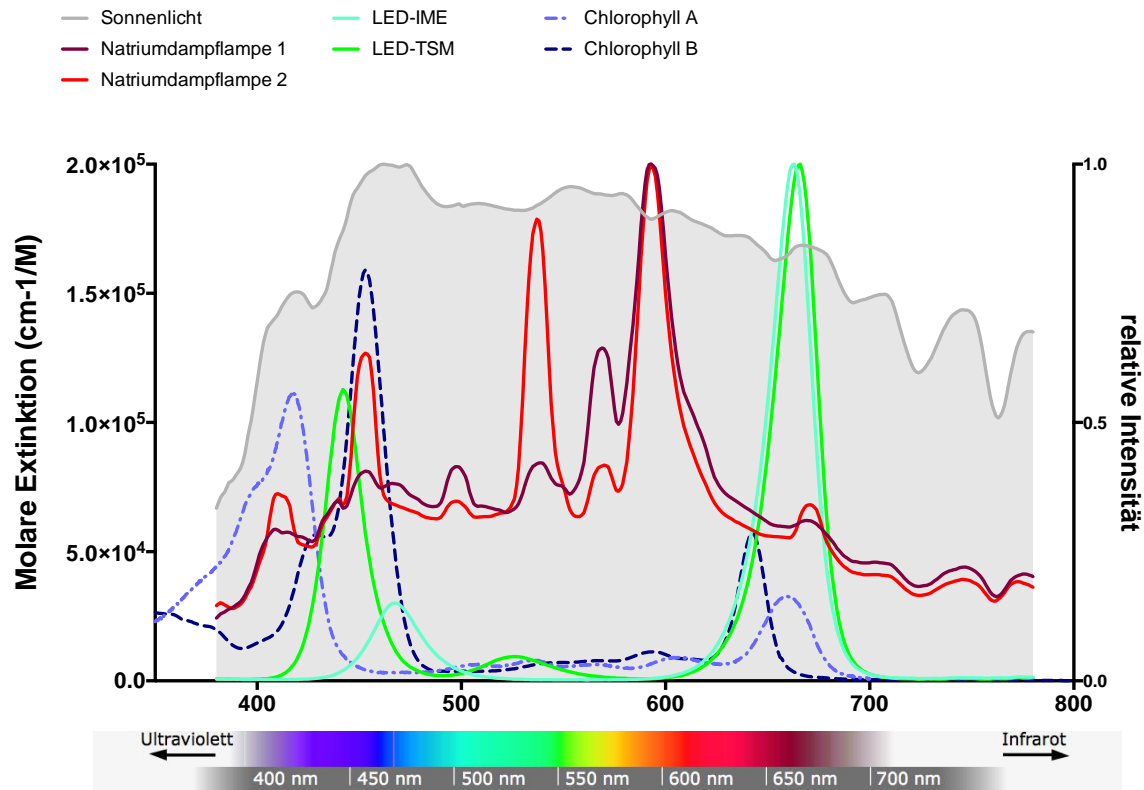
Quelle: Technik und Bewertung moderner LEDs aus energetischer Sicht; Hans-Jürgen Tantau; Leibniz Universität Hannover

Warum LEDs?

Farbspektrum

6

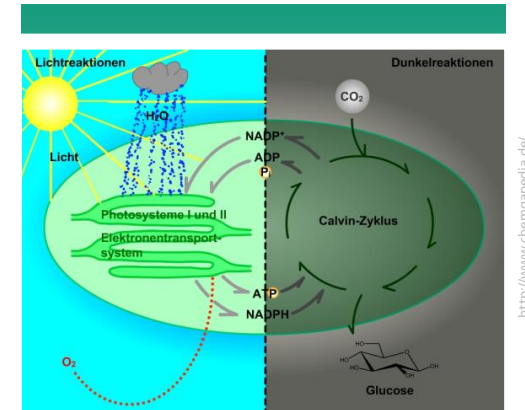
- Im Gegensatz zu Natriumdampflampen kann bei LEDs das Farbspektrum gezielt ausgewählt und individuell angepasst werden



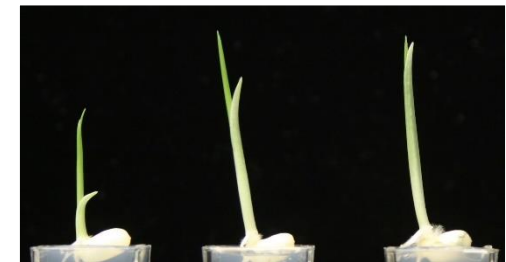
Pflanzen und Licht

Lichtabhängige Prozesse in der Pflanze

- Licht ist für Pflanzen nicht nur eine Energie- sondern auch eine Informationsquelle.
- Phototrophie (Nutzung von Licht als Energiequelle)
 - Photosynthese
- Photoperiode (Tag/Nacht Länge)
- Photomorphogenese (Licht Menge und Qualität)
 - Wachstumsregulierung und Entwicklung
 - Photorezeptoren: Phytochrome, Chryptochrome, Phototropine, ...



<http://www.chemgapedia.de/>



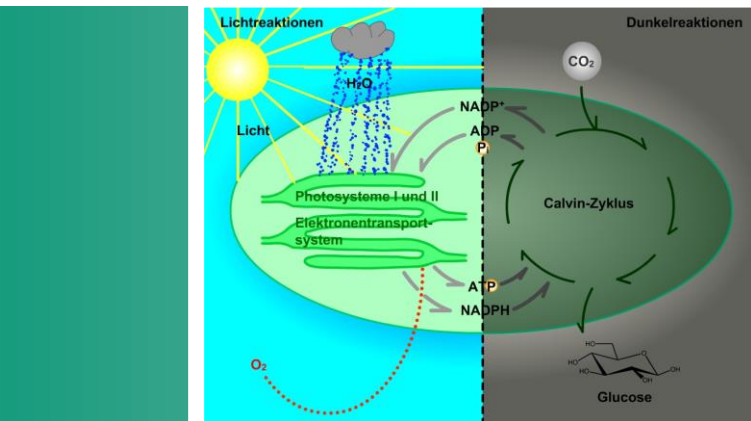
<https://www.bioökonomiebw.de/de/fachbeitrag/aktuell/ein-pflanzenhormon-und-das-wachstum-im-dunkeln/>

Pflanzen und Licht

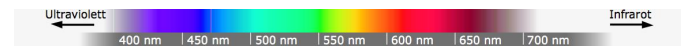
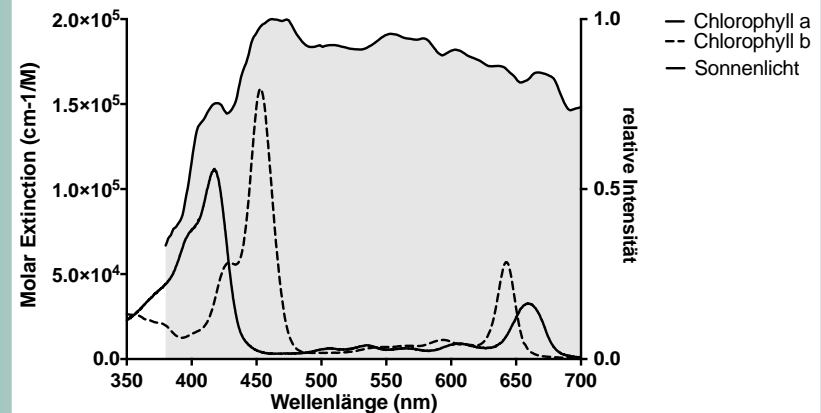
8

Photosynthese

- **Lichtsammelkomplex: Absorption von Lichtenergie durch verschiedene Pigmente**
 - Chlorophyll a & b
 - Absorption im blauen und roten Spektrum
 - Carotinoide
 - Absorption im grünen und gelben Spektrum



<http://www.chemgapedia.de/>

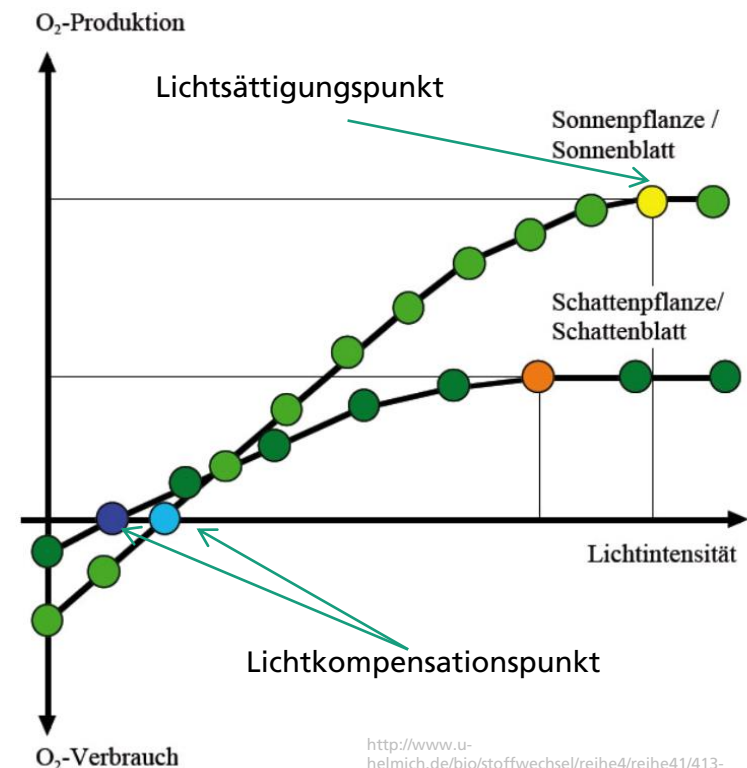


Pflanzen und Licht

Photosynthese

9

- Wieviel Licht ist notwendig?
 - Mindestmaß an Licht wird benötigt
 - Schattenpflanzen ca. $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
 - Sonnenpflanzen ca. $20\text{--}30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- Lichtsättigungspunkt ist bei verschiedenen Pflanzen sehr unterschiedlich.
 - *Lolium perenne*: $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR ★
- Zu intensive Beleuchtung führt zu oxidativem Stress in der Pflanze



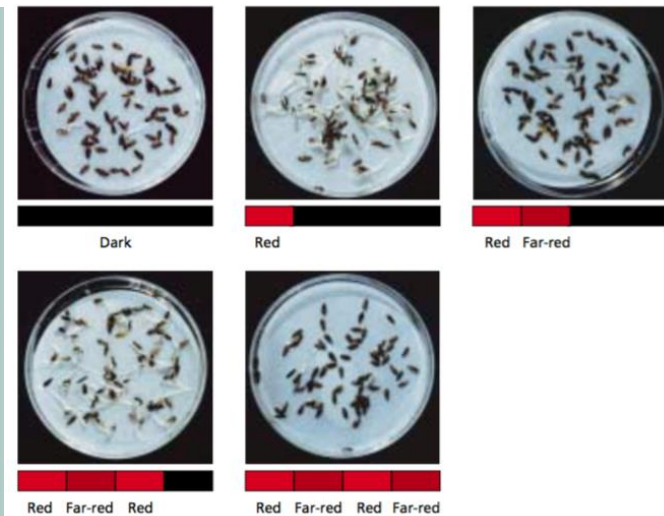
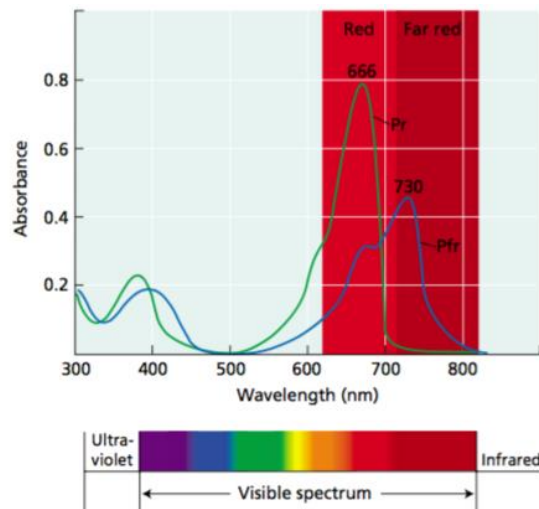
Phytochrome

- Verschiedene Stoffwechselwege werden durch Lichtsignale gesteuert
 - **Phytochrome (red/far red)**
 - Keimung
 - Vergeilung
 - Wurzelwachstum
 - Blütezeit
 - Stresstoleranz ...
 - Cryptochrome und Phototropine (Blau/Ultraviolett)
 - Unbekannte Rezeptoren (Ultraviolett B)
 - Unbekannte Rezeptoren (grüner Spektralbereich)

Pflanzen und Licht

Phytochrome: Rotes und dunkelrotes Licht

- Phytochrome existiert in zwei Formen: Pr und Pfr
 - Rotes Licht sorgt für die Umwandlung von Pr in Pfr
 - „far red“ Licht sorgt für die Umwandlung von Pfr in Pr
- Beispiel: Keimung von Salat



Phytochrome and Light Control of Plant Development. 2002 Jul 10;:1–29.

Phytochrome: Effekt von Red/FarRed Beleuchtung

■ *Lolium multiflorum*

- Bedingungen: Tageslichtbeleuchtung + 1,5h EOD Red ($5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); FarRed ($23 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Casal et al.—Light Quality Effect on Grass Shoots

3

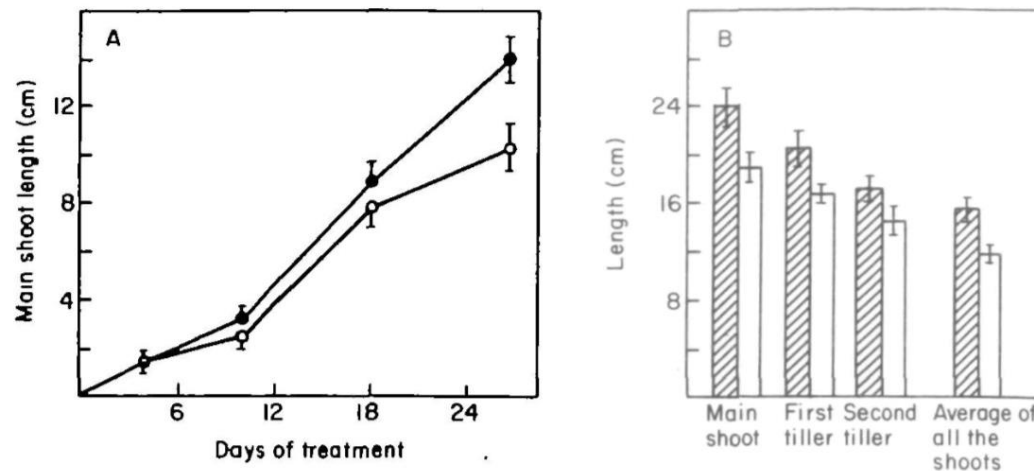
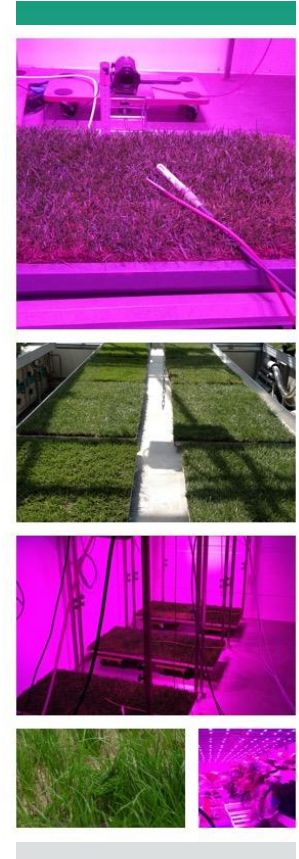


FIG. 1. A, Variation in main shoot length of *Lolium multiflorum* plants treated with end-of-day R (○) or FR (●) irradiations (means of 10 replicates per treatment); B, Effect of end-of-day FR (■) or R + FR (□) irradiations on the length of *Lolium multiflorum* main shoot and tillers after 35 d of treatment (means of 12 replicates per treatment). Vertical bars represent $2 \times \text{s.e. mean}$.

LEDs

Möglichkeiten, Chancen und Grenzen

- Gezielte Einflussnahme auf die Entwicklung von Pflanzen
 - Erhöhung der Keimungsrate
 - Regulierung der Wuchshöhe
 - Verstärkung des Wurzelwachstums
- „End of Day“ oder „End of Night“ Beleuchtung mit red/far red oder blauem Licht
 - Kurze Beleuchtungszeiten (10-60 min) mit geringen Intensitäten sind ausreichend ($5-20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- „All in one“ System
 - Anpassung der Beleuchtung auf die jeweiligen Bedürfnisse/Anforderungen



Möglichkeiten, Chancen und **Grenzen**

- Der überwiegende Anteil der publizierten Erkenntnisse im Bereich „Lichtsignale“ beruht auf Untersuchungen in Arabidopsis
 - Wenige Untersuchungen mit Rasensorten, z.T älter (1960er)
- LED Technologie erlaubt viele Freiheitsgrade – hohes Potential aber viele Variablen
 - Welche Wellenlängen/Mischungen – nur blau/rot oder alle Farben?
 - Welche Intensitäten?
 - Welche Beleuchtungsdauern?
 - Supplementierung von Tageslicht, EON, EOD?
 - Welche Rasensorten?
 - Örtliche Beschränkungen (z.B Mikroklima, Schattendruck, Stress, ...)?



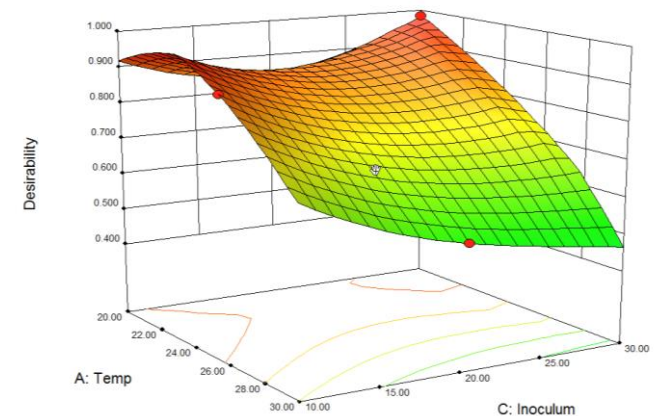
LEDs

Möglichkeiten, **Chancen** und Grenzen

- Einsatz von statistischer Versuchsplanung (DoE) um die Vielzahl an Variablen zu berücksichtigen und Wechselwirkungen aufzudecken
- Einsatz von faktoriellen Versuchsplänen
 - Reduzierung der Anzahl an notwendigen Versuchen
- Erstellen von Wirkungsflächenmodellen
 - Vorhersagemöglichkeiten
 - Faktorinteraktionen

Beispiel: Pflanzliche Zellkulturen für kosmetische Industrie

- Optimierter Prozess 4x schneller, bei nur 50% der ursprünglichen Kosten
- Versuchsdauer inkl Auswertung: 6 Wochen



Rasche S, Herwartz D, Schuster F, Jablonka N, Weber A, Fischer R, et al. More for less: Improving the biomass yield of a pear cell suspension culture by design of experiments. Nature Publishing Group. 2016 Mar 11;:1–6.

- LEDs bieten interessante neue Möglichkeiten zur zusätzlichen Beleuchtung von Rasenflächen
 - Effizientere Beleuchtung (PAR)
 - Gezielte Auswahl des Spektrum, Beeinflussung der Morphogenese
 - ... aber nicht notwendigerweise das „Allheilmittel“
- Natriumdampflampen erzielen ähnliche Lichtausbeuten wie Hochleistungs-LEDs
 - Nachteilig sind jedoch das Farbspektrum und die starke Infrarotstrahlung
- Versuche mit LED-Einheiten haben gezeigt, dass ein Wachstum von Rasen sowie Keimung unter klimatisch ungünstigen Bedingungen möglich ist
- Statistische Versuchsplanung ist ein geeignetes Werkzeug um das Potential der LED-Technologie voll auszuschöpfen