

Biokunststoffe für optische Komponenten in Leuchten

Fachforum Ressourcen 6.11.2018

J. Meyer, N. Schmidt, M. Hemmerich
Hochschule Hamm-Lippstadt

Green Photonics

u.a. umweltfreundliches
Design und
umweltfreundliche
Produktion

- Betrachtung des vollen
Produktlebenszyklus
- nachhaltige Ressourcen
- nachwachsende
Rohstoffe

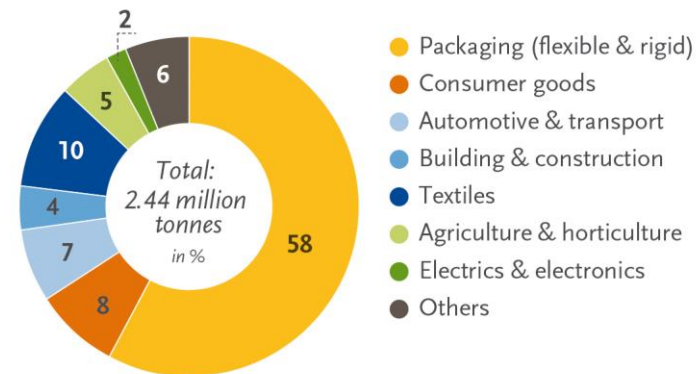


Verwendung von Biokunststoff

- Hauptsächlichliche Verwendung: Verpackungen
- Elektronik (darunter Beleuchtung) spielt eine untergeordnete Rolle
- Prognose: es bleibt so

Global production capacities of bioplastics in 2017 (by market segment)

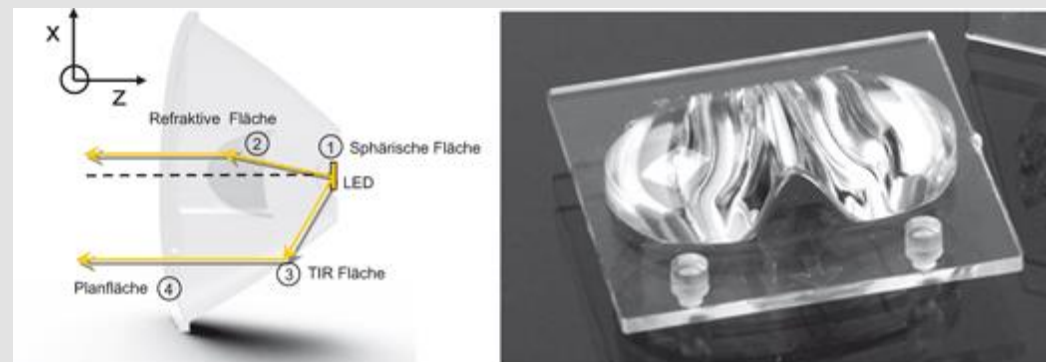
Global production capacities of bioplastics in 2022 (by market segment)



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2017). More information: www.bio-based.eu/markets and www.european-bioplastics.org/market

Optische Komponenten aus Kunststoff

- geringeres Gewicht
- günstige Massenproduktion
- Designfreiheit in Gestalt und Form
- Integration verschiedener Funktionsteile
- Verstärkter Einsatz durch LED Technologie



Quelle: Brecher, C. *Kunststoffkomponenten für LED-Beleuchtungsanwendungen. Werkzeugtechnik, Replikation und Metrologie; essentials*; Springer Vieweg: Wiesbaden, 2016.

Kunststoffe für Optiken

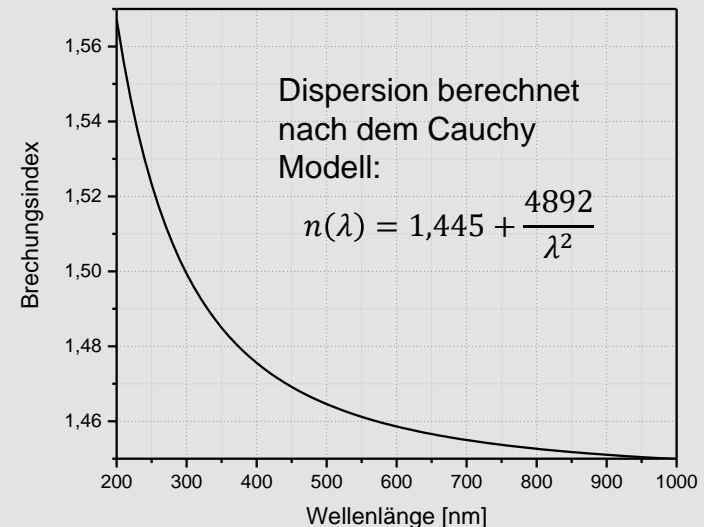
- Kunststoffe mit vorteilhaften Eigenschaften für optische Anwendungen sind vor allem
 - Polymethylmethacrylat
PMMA (z.B. Plexiglas®)
 - Polycarbonat
PC (z.B. Makrolon®)
 - Cyclo Olefin-Polymer
COP (z.B. Zeonex®)
 - Optische Polyester
O-PET (z.B. OKP4)
 - Polysulfon
PSU (z.B. UDEL®)

Material	n_D	Abbe-Zahl V_D
PC	1,58	32
PMMA	1,49	59
COP	1,53	56
PSU	1,63	24
O-PET	1,61	28

Quelle: Bäumer, S. *Handbook of Plastic Optics*; John Wiley & Sons: Hoboken, 2011.

Optische Eigenschaften von Polylactid (PLA)

- D- und L- Isomer haben identische Brechungsindizes
- Dispersion lässt sich mit einem Cauchy Modell beschreiben
- Brechungseigenschaften sind vergleichbar mit PMMA oder PC

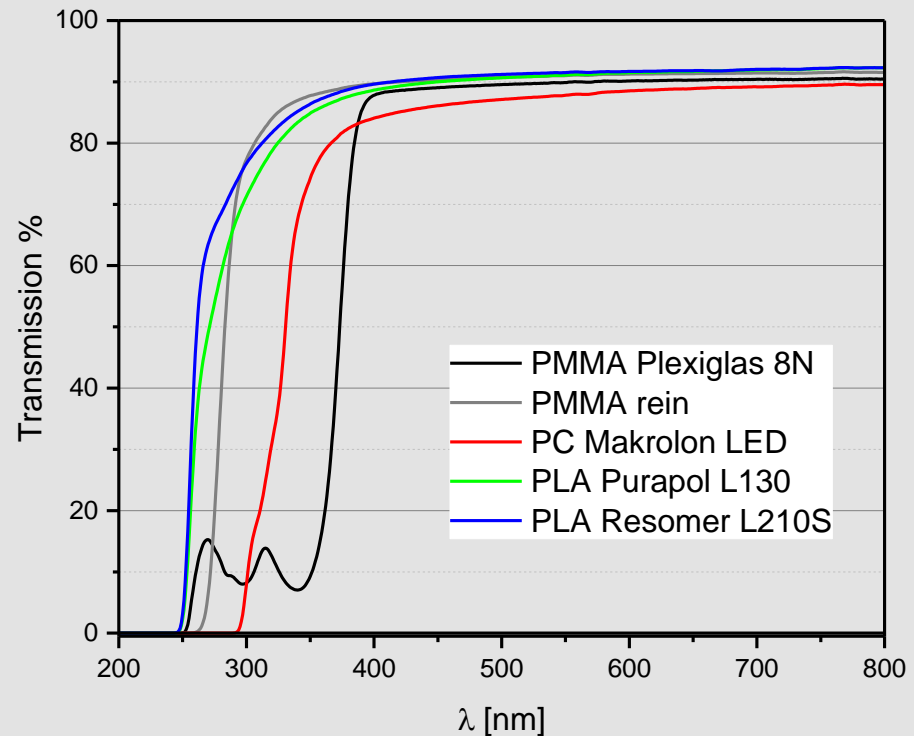


Material	n_D	Abbe-Zahl V_D
PC	1,58	32
PMMA	1,49	59
PLA	1,46	46

Quelle: Auras, R.; Lim, L.-T.; Selke, S. E. M.; Tsuji, H. *Poly(Lactic Acid). Chapter 8: Optical Properties*; John Wiley & Sons, Inc: Hoboken, NJ, USA, 2010.

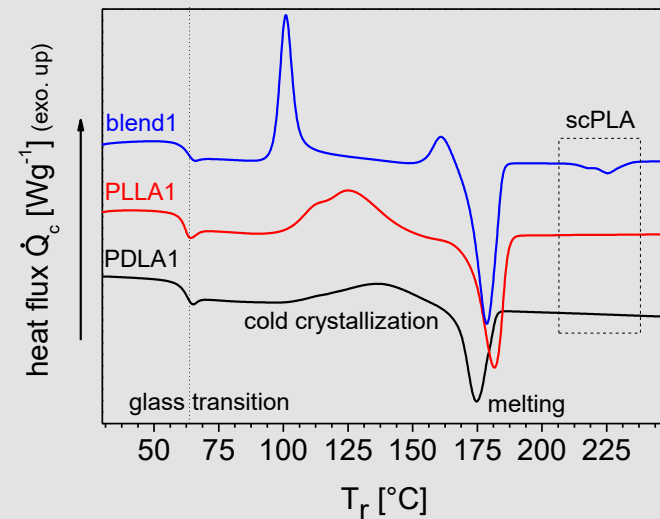
Transmission von PLA im Vergleich mit optischen Polymeren

- PLA transparent bis < 280 nm (fernes UV)
- Transmission im Sichtbaren sehr hoch
- keine Eigenfärbung

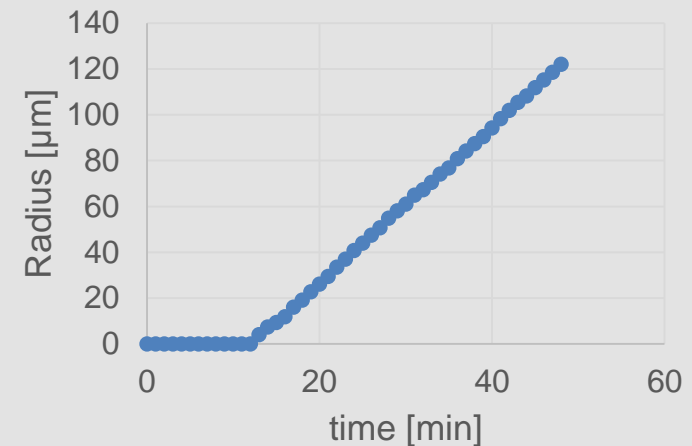
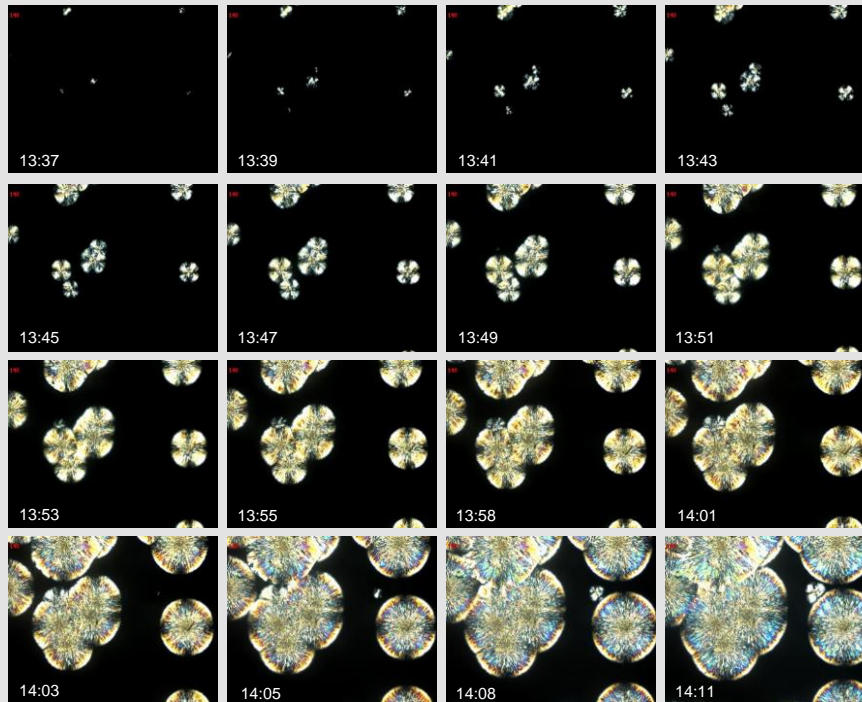


Thermische Eigenschaften

- T_g liegt bei 60-70°C
→ Verlust der Steifigkeit
- im Bereich von T_g beginnt die Kristallisation von PLA
→ Verlust der Transparenz

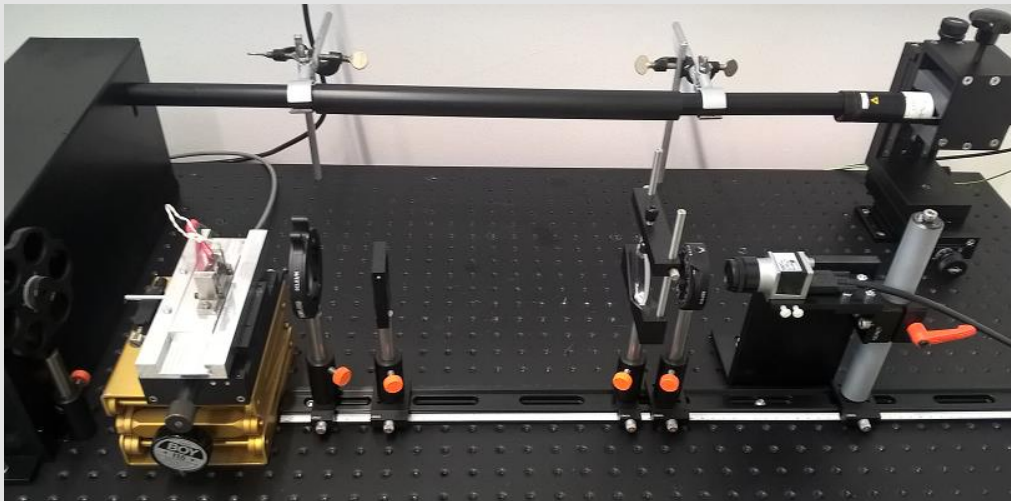


Untersuchung des Kristallisationsverhaltens

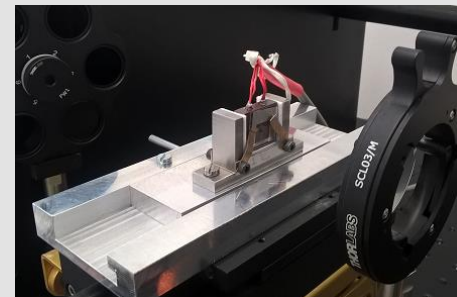


- Bestimmung der Sphärolith-Radien mittels POM

Kleinwinkellichtstreuung (SALS)



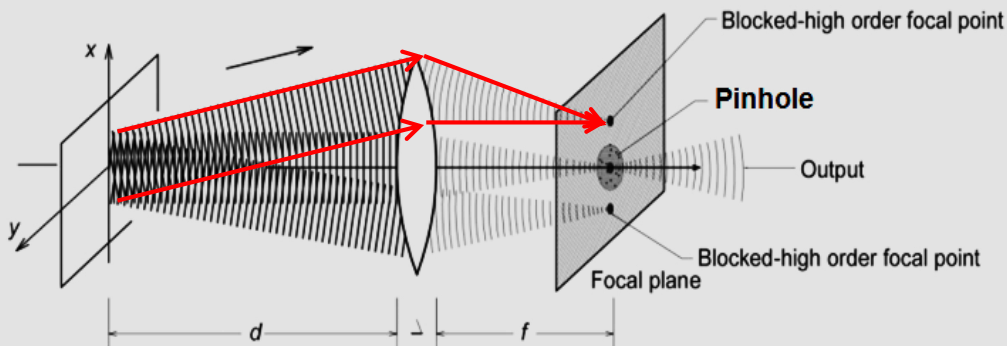
Messung an



(1) Schmelzen (RT-250°C)

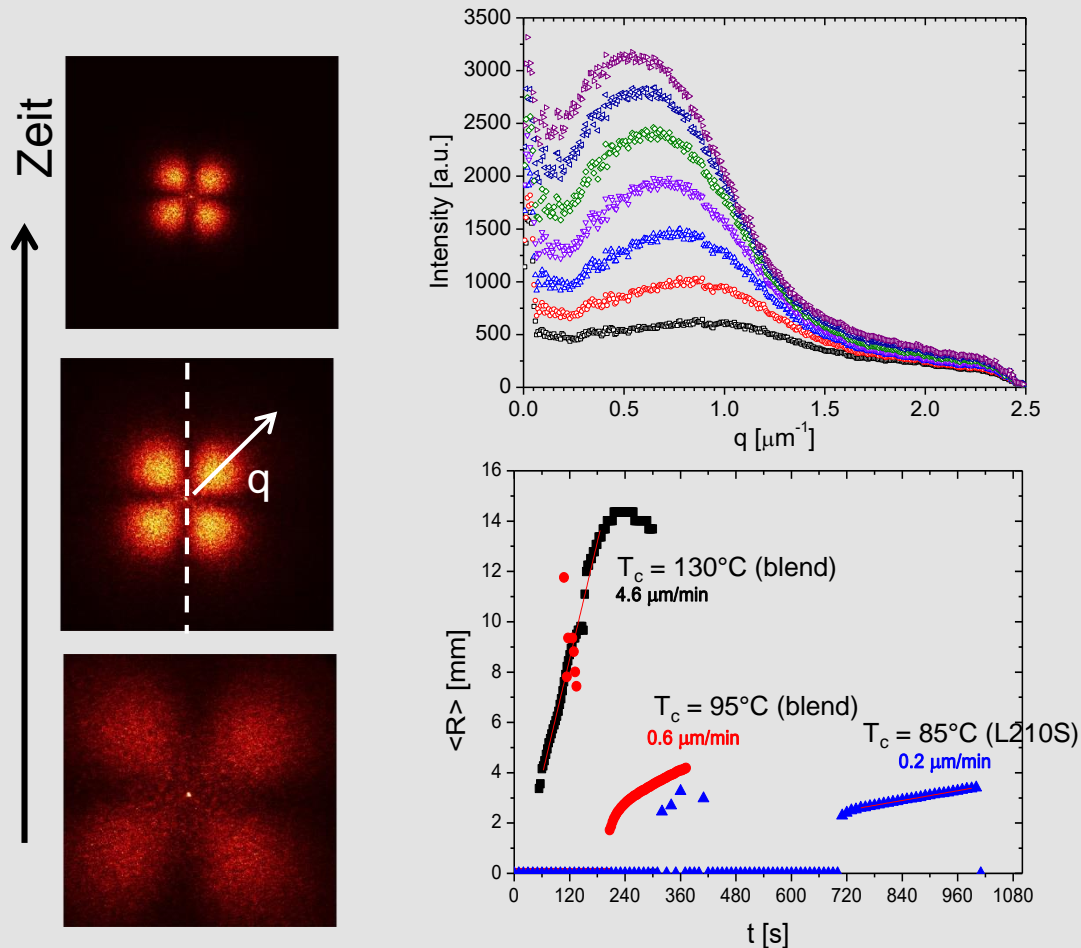


(2) Kolloidalen Suspensionen



Quelle: Ferri, F. Use of a charge coupled device camera for low-angle elastic light scattering. *Review of Scientific Instruments* [Online] 1997, 68 (6), 2265–2274.

Wachstumskinetik der Sphärolithe



Sphärolith Radius

$$\langle R \rangle(t) = \frac{4.1}{q_{\max}(t)}$$

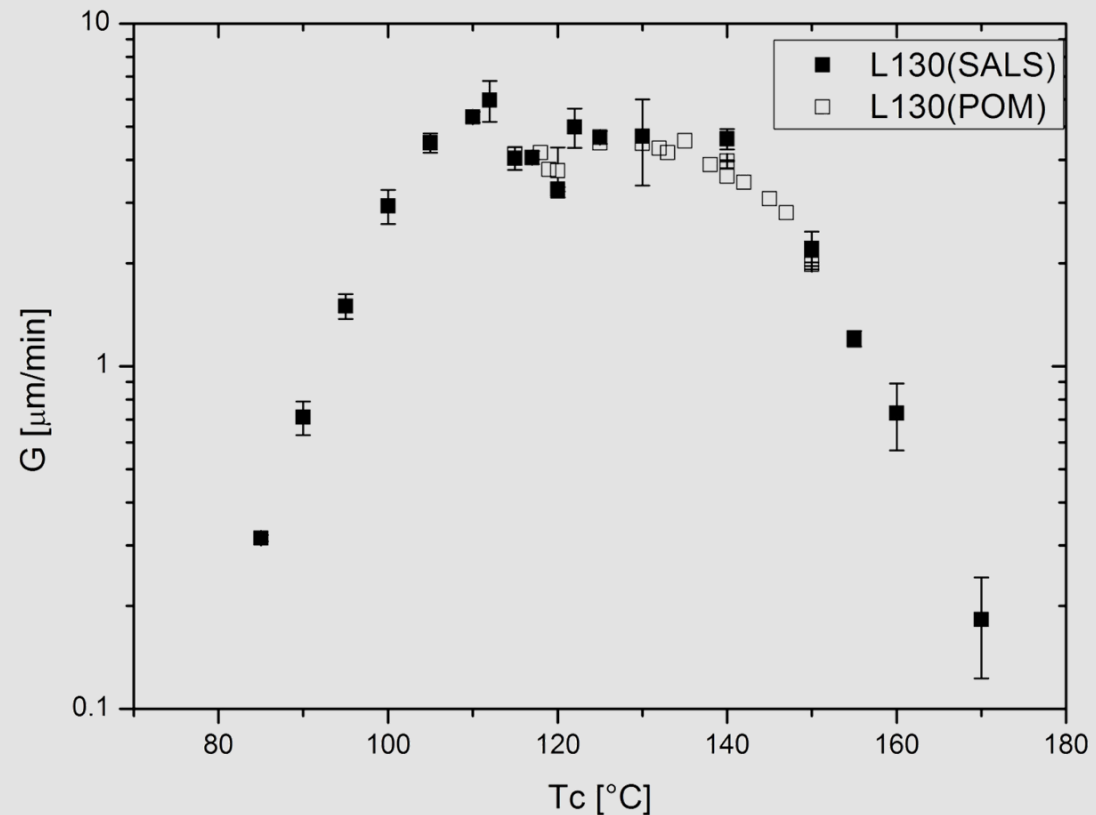


Sphärolith Wachstumsrate

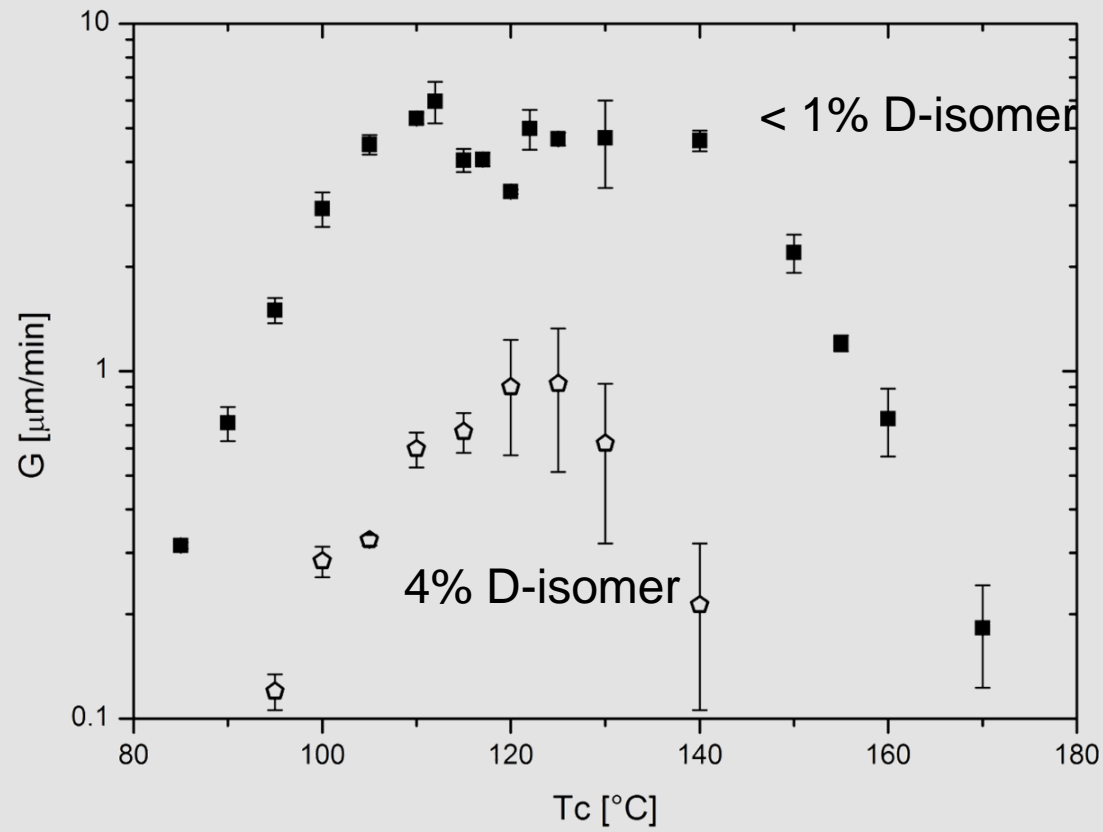
$$G(T) = d\langle R \rangle / dt$$

Sphärolith Wachstum

- glockenförmiger Verlauf
- Unstetigkeit bei 120°C → Änderung des Wachstumsverhaltens/der Kristallstruktur



Abhängigkeit vom Isomerenverhältnis



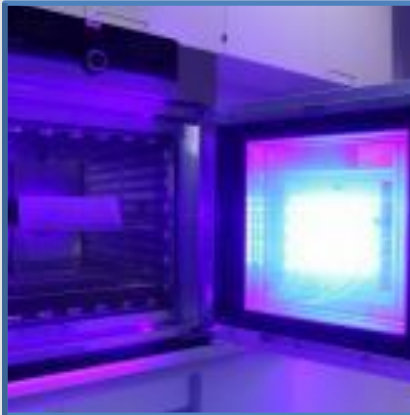
Nachhaltigkeit und Lebensdauer

LEDs:

- sehr hohe Lebensdauer
 - Hoher Anteil blauer Strahlung
- Herausforderung für die Haltbarkeit optischer Materialien



Beständigkeit gegenüber optischer Strahlung



1. Generation
ca. 40 W/m²,

- Temperaturerhöhung → Ofen
- Proben beeinflussen sich



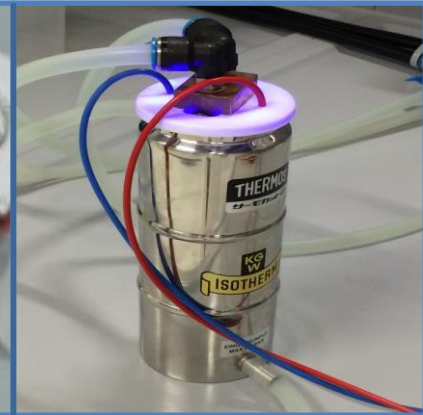
2. Generation
ca. 450 W/m²

- je 1 Probe
- Temperaturerhöhung → Metallblockthermostat



3. Generation
ca. 900 W/m²

- je 1 Probe
- Temperaturerhöhung → Metallblockthermostat

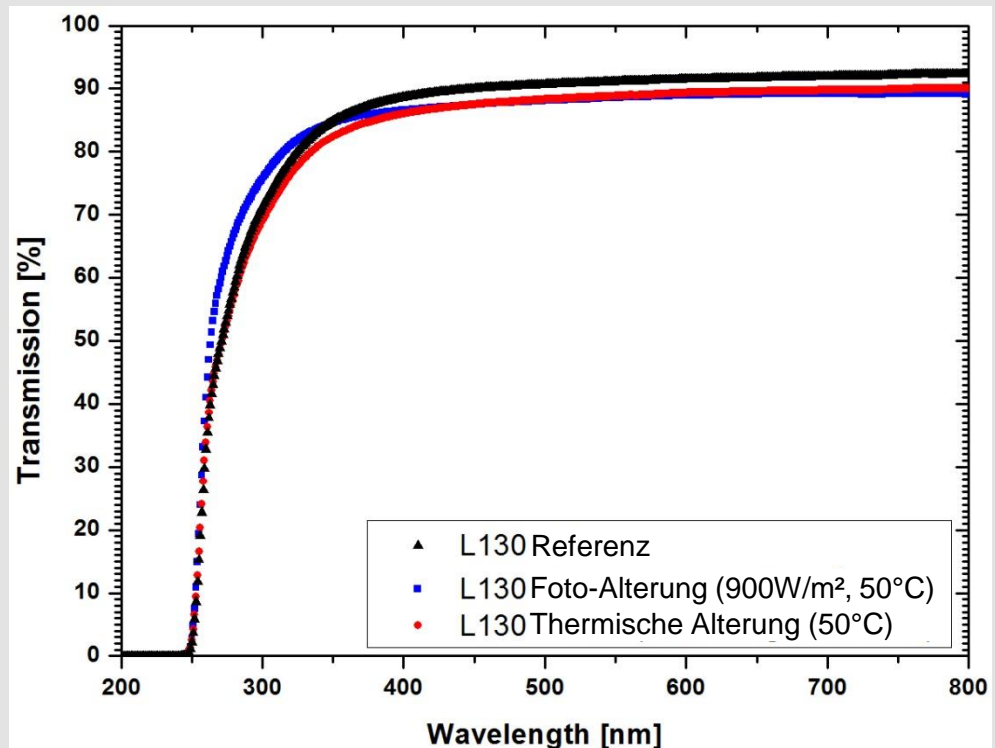


4. Generation
bis zu 5,7 kW/m²

- je 1 Probe
- Temperierung über Umwälzthermostat
- effiziente LED-Wasserkühlung

Alterung von PLA

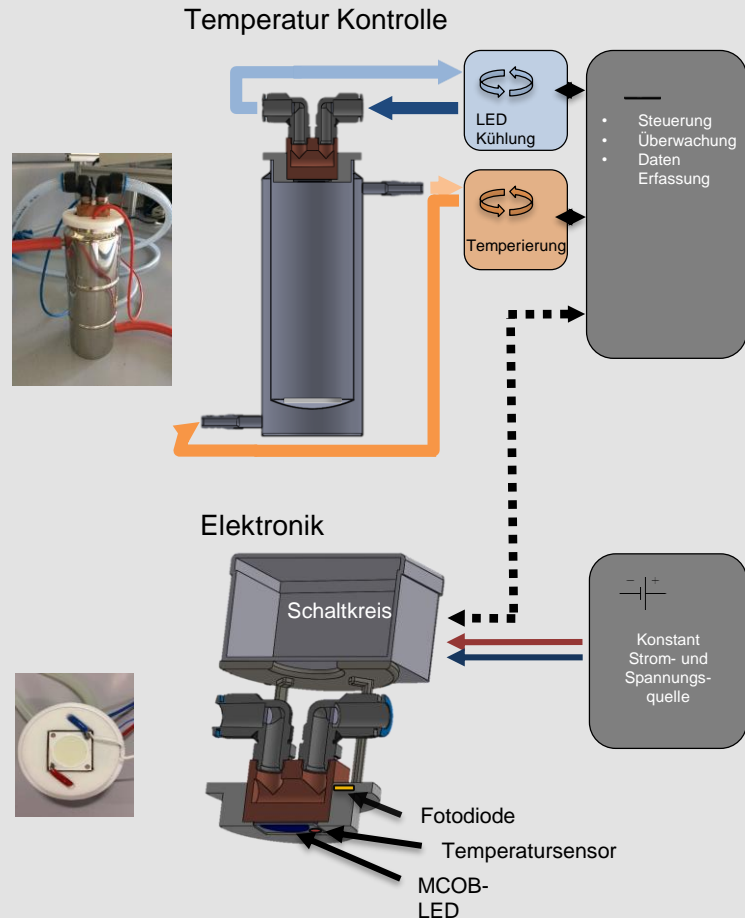
- Transparenz insgesamt nimmt ab
 - Transmission < 300 nm nimmt zu (Ausbleichen von Zuschlägen?)
 - Kettenabbau wird beobachtet (GPC)
 - Kein Kettenabbau in Inertgasatmosphäre (Ar-Atmosphäre, Glove-Box)
- Weitere zuverlässigere Messungen erforderlich



Fotodegradationsprüfstand

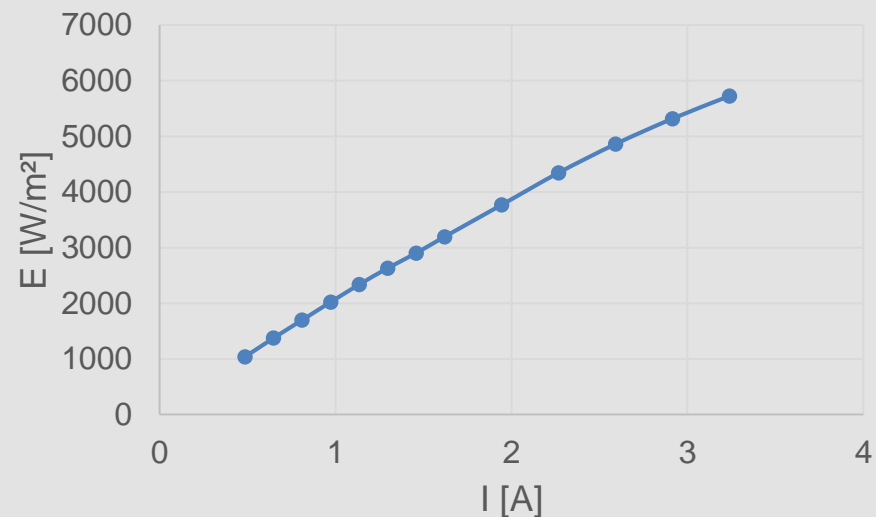
4. Generation

- Proben temperierung
< -10°C bis > 90°C über
Umwälzthermostat
- Wasserkühlung der
MCOB-LED ($T_j = 50^{\circ}\text{C}$)
- Überwachung und
Erfassung der
Betriebsparameter
(T , E_e , ...)



Strom - Bestrahlungstärke

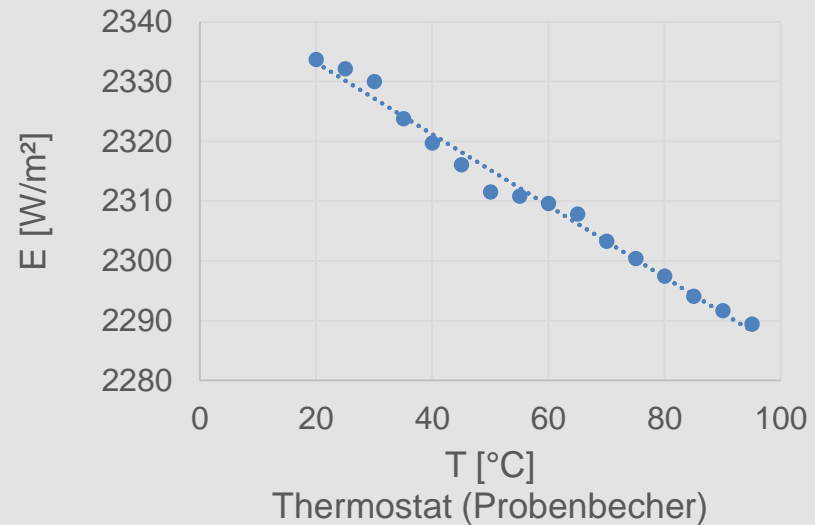
- PD Ophir 300-UV
- Abschwächung durch ND-Filter (OD = 0,606)
- Thermostat LED 34 °C
- Thermostat Probe 25 °C
- 10 min. Einlaufzeit der LED
- Abstand LED/Detektor ≈ 17 cm
- Messung mit 4 weiteren Dioden und Avantes Spektrometer bestätigt




⇒ $I_{70\%} = 1,134$ A; $E = 2337,11$ W/m²

Temperatur - Bestrahlungsstärke

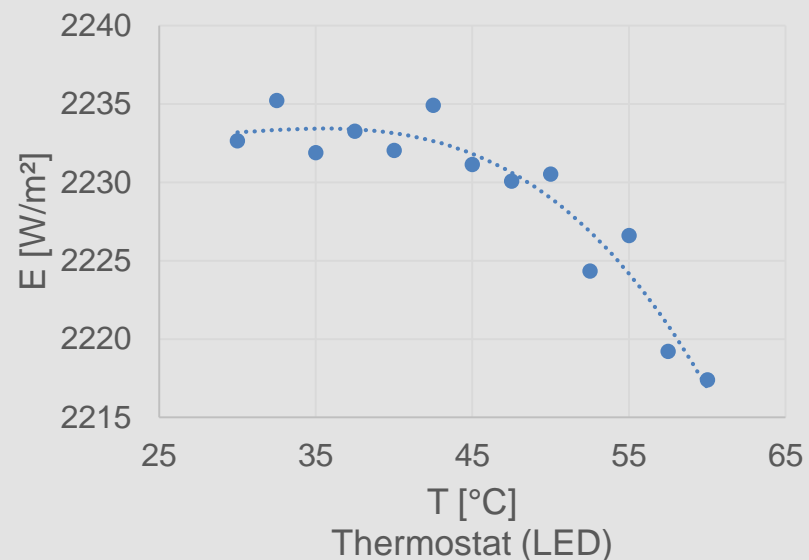
- Avantes Spektrometer mit U-Kugel
- Abschwächung durch ND-Filter (OD = 0,606+0,409)
- Thermostat LED 34°C
- Strom 1,134 A
- 10 Min. Einlaufzeit der LED
- Abstand LED/Detektor $\approx 16,7$ cm
- Thermostat Probe 20-95°C




 Temperaturerhöhung $\Delta T = 75$ °C;
 $\Delta E_{\text{rel}} = 1,93\%$

LED Temperatur - Bestrahlungsstärke

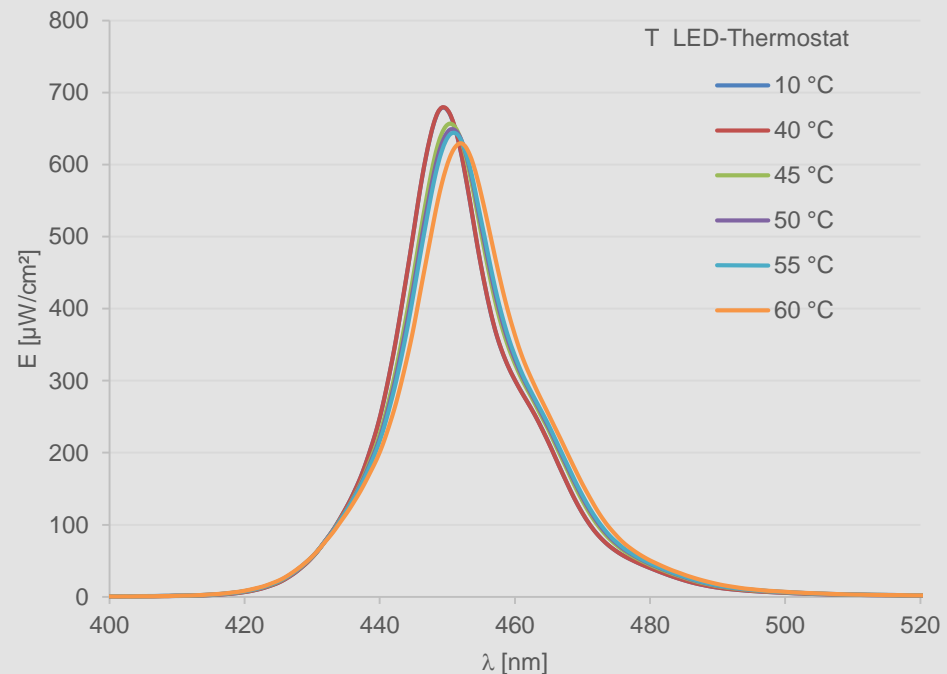
- Avantes Spektrometer mit U-Kugel
- Abschwächung durch ND-Filter
(OD = 0,606+0,409+0,164)
- Thermostat Probe 25 °C
- Strom 1,134 A
- 10 Min. Einlaufzeit der LED
- Abstand LED/Detektor
≈ 16,7 cm
- Thermostat LED 30-60 °C



⇒ Abnahme der Bestrahlungsstärke
ab ca. 40 °C

Änderung der LED-Emission bei Temperaturerhöhung

- Unter Betriebsbedingungen (T LED-Thermostat 34°C) ist $\lambda_{\max} = 450 \text{ nm}$
- Spektrale Verbreiterung
- Verschiebung von λ_{\max} zu höheren Wellenlängen



Ausblick

- Identifizierung weiterer Materialkandidaten
- Modifizierung von PLA zur Verbesserung der Eignung
- Fertigung von Musterteilen
- Detaillierte Analyse des Langzeitverhaltens
- Gezielte Beeinflussung der Haltbarkeit
- Aufbau von Demonstratoren



Danksagung

Kooperative Promotionen:

K. Huber (Universität Paderborn), F. Walther (Technische Universität Dortmund)

Personen:

K. Böhmer, D. Dziwisch, E. Graefenstein, K. Kensbock, N. Rokossa

Materialien:

Total Corbion PLA bv (R. Haan, V. Jaso, K. Joziasse, M. Doornheim, S. de Vos)

Förderung:

