

---

# FRAUNHOFER-KUNSTSTOFFZENTRUM OBERLAUSITZ ZITTAU

Verarbeitung von regeneriertem PA 11 Pulver im Lasersinterprozess zur  
Herstellung von Bauteilen mit PP-Eigenschaftsprofil

---



Dr.-Ing. Martin Kausch

Dipl.-Ing. (FH) Tobias Sauerstein

Dr.-Ing. Sören Grießbach (GS-Pro GmbH)

# INHALT

---

- Fraunhofer-Kunststoffzentrums Oberlausitz
- Additive Fertigungstechnologie Lasersintern
- Marktanforderungen für Lasersinterbauteile
- Materialeffizienz beim Lasersintern
- Vergleich PA 11 Neupulver vs. Regeneriertes Pulver
- Verarbeitung von regeneriertem PA 11 Pulver
- Versuche & Ergebnisse
- Zusammenfassung

# Fraunhofer-Kunststoffzentrum Oberlausitz



## Forschen im Dreiländereck

- Technologietransfer im Dreiländereck
- Nachhaltige Stärkung der Region
- Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit

## Additive Fertigung von Kunststoffbauteilen

Entwicklung eines flammwidrigen Sinterwerkstoffes mittels funktionalisiertem Glasschaum



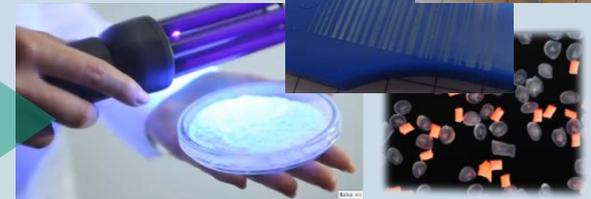
## Thermoplastische Verbundhalbzeuge

Kontinuierliche kraftflussgerechte Textiltechnologien für Leichtbaustrukturen in Großserie - KonText



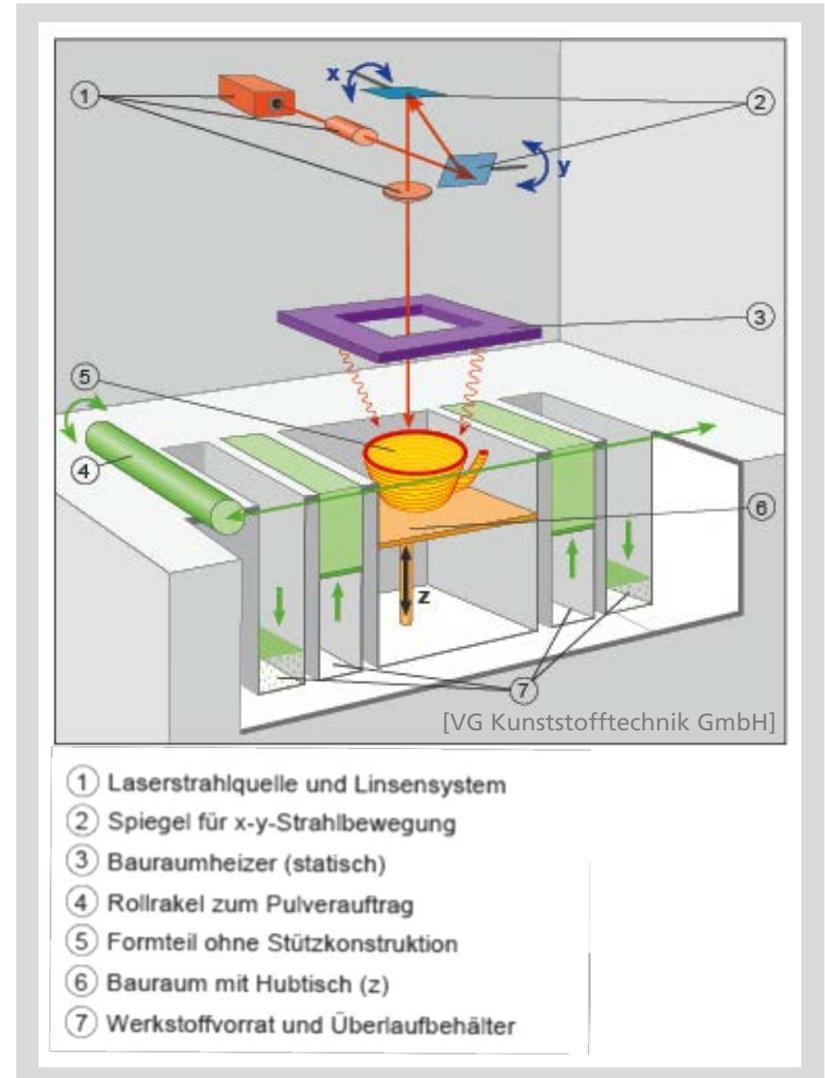
## Funktionsintegration und Elastomerverarbeitung

Entwicklung eines Markierungs- und Plagiatenschutzsystems für Kunststoffrohre



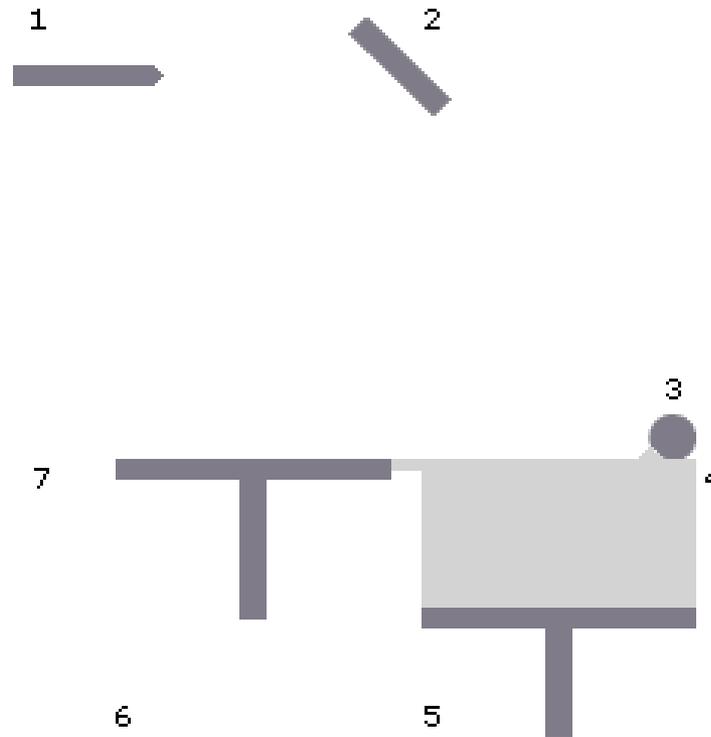
# Lasersinter (LS)-Verfahren

- Erzeugte Bauteile mechanisch und thermisch belastbar  
→ (Direct Manufacturing)
- Keine Stützkonstruktionen notwendig (Bauteilabstützung durch nicht verfestigtes Pulver)
- Einfache Bereinigung der Bauteile
- Bauteile direkt einsatzfähig
- Integrierte Hohlräume möglich, aber schwer zu reinigen



# Prozessablauf Lasersintern

---



- 1 Laser
- 2 Spiegel
- 3 Wischer
- 4 Pulver
- 5 Pulverkammer
- 6 Prozesskammer
- 7 Bauteil

[1zu1 Prototypen GmbH & Co KG]

# sPro™60 HD-HS (Fa. 3D Systems GmbH)

- **Arbeitsraum (brutto)**
- **Laserleistung**
- **Schichtstärken**
- **Verfügbare Materialien**

381 x 330 x 457 mm

70 W, freie Parametereinstellung

0,08 – 0,15 mm (Typisch: 0,1 mm)

PA 12, PA 12 GF (Kugel und Faser), PA 11, PS (Feingussmodell)



# Lasersintern: Materialien & zukünftige Einsatzchancen

## ■ Materialien

- Standardmaterialien: PA11, PA12, PS
- Hochleistungskunststoff: PAEK
- Sondermaterialien: TPU, TPE
- Studiencharakter: PP; PE

## ■ Entwicklungspotentiale und Branchen

- Materialentwicklung, spezifische Eigenschaften
- Prozessgeschwindigkeit
- Materialeffizienz
- Automatisierung der gesamten Fertigungsprozesskette

Sondermaschinenbau

Medizintechnik

Luft- und Raumfahrt

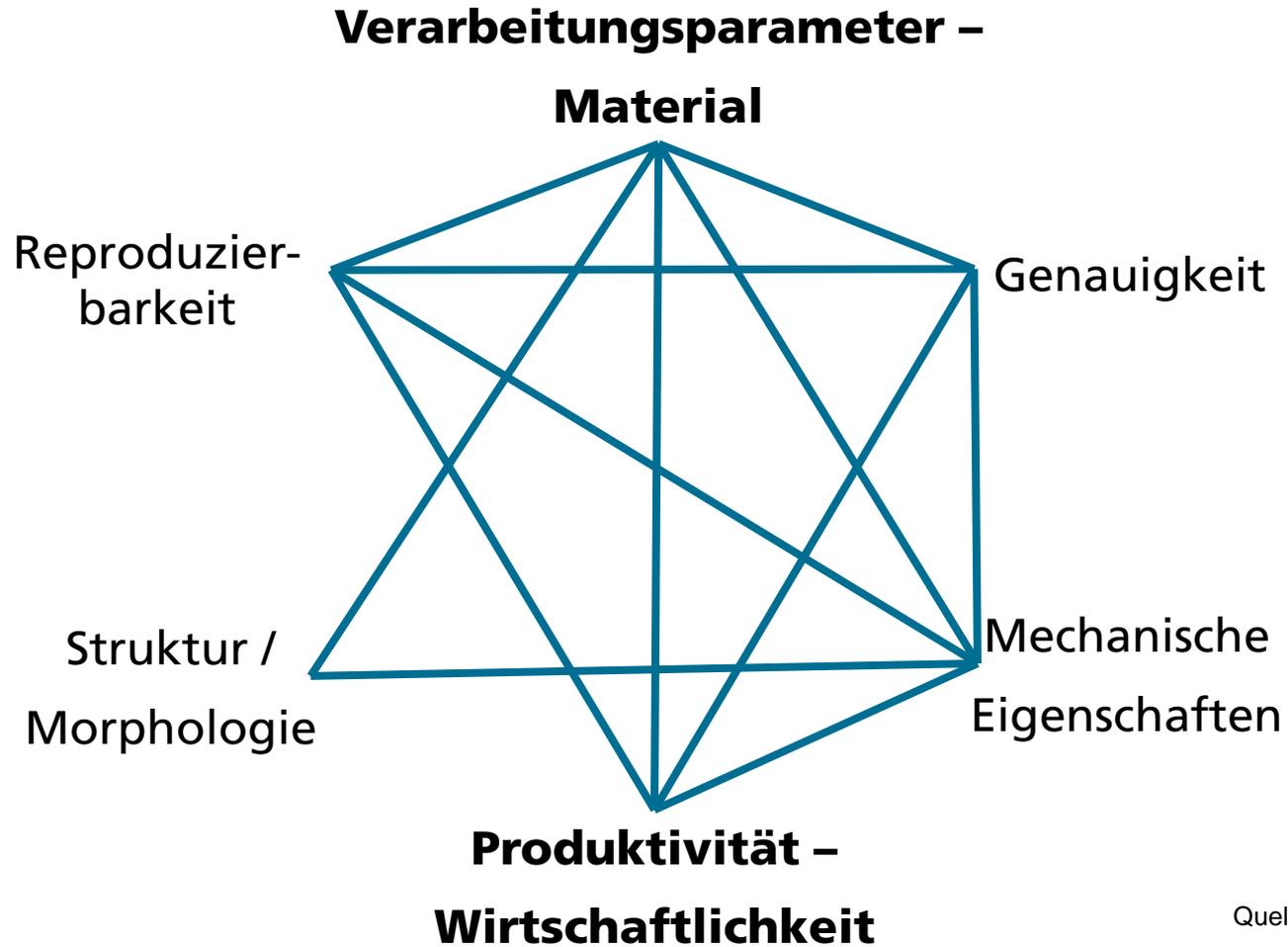
Automobilrennsport

Fahrzeugsonderausstattung



# Marktanforderung an LS-Bauteile

---

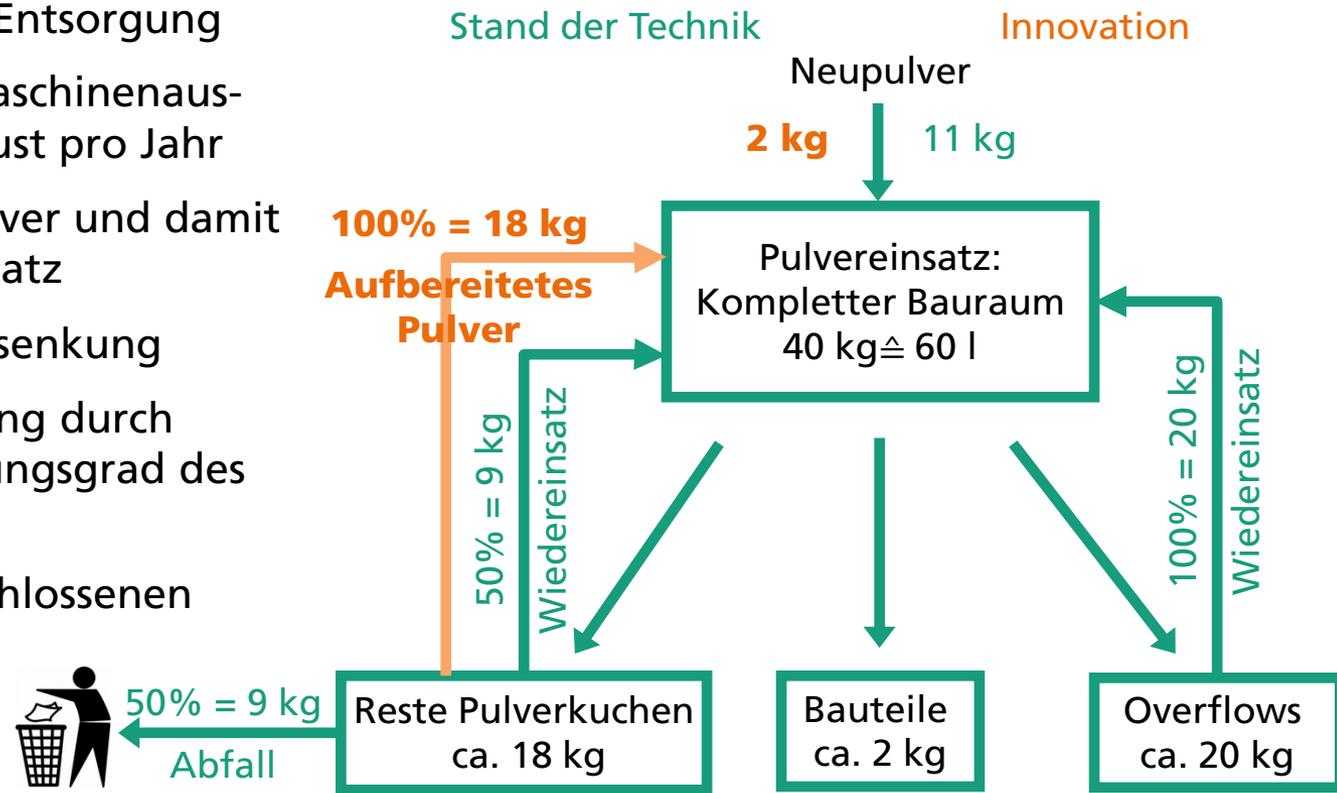


Quelle: Sören Gießbach

# Materialeffizienz beim Lasersintern

- Erheblicher Pulveranteil wird aufgrund teilweiser Agglomeration für den Prozess nicht wiederverwendet → Entsorgung
- Im  $\emptyset$  100 h/Woche Maschinenauslastung → 52 T€ Verlust pro Jahr
- Aufbereitetes des Pulver und damit 100%iger Wiedereinsatz
  - Erhebliche Kostensenkung
  - Ressourcenschonung durch höheren Ausnutzungsgrad des Pulvers
  - Aufbau eines geschlossenen Kreislaufs

## Beispiel: Pulverausnutzung sPro 60



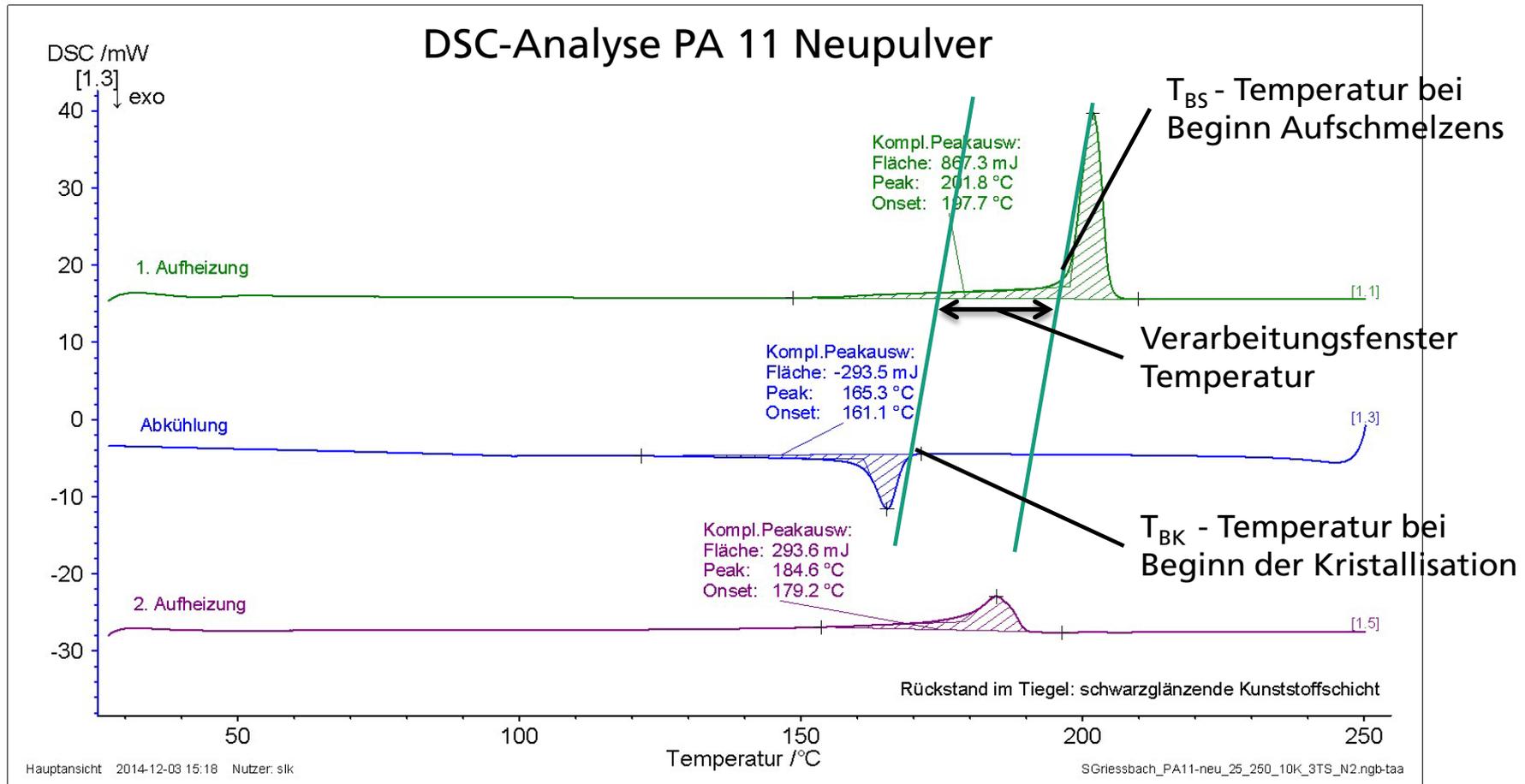
# Aufbereitung LS-Material & Vorteile

---

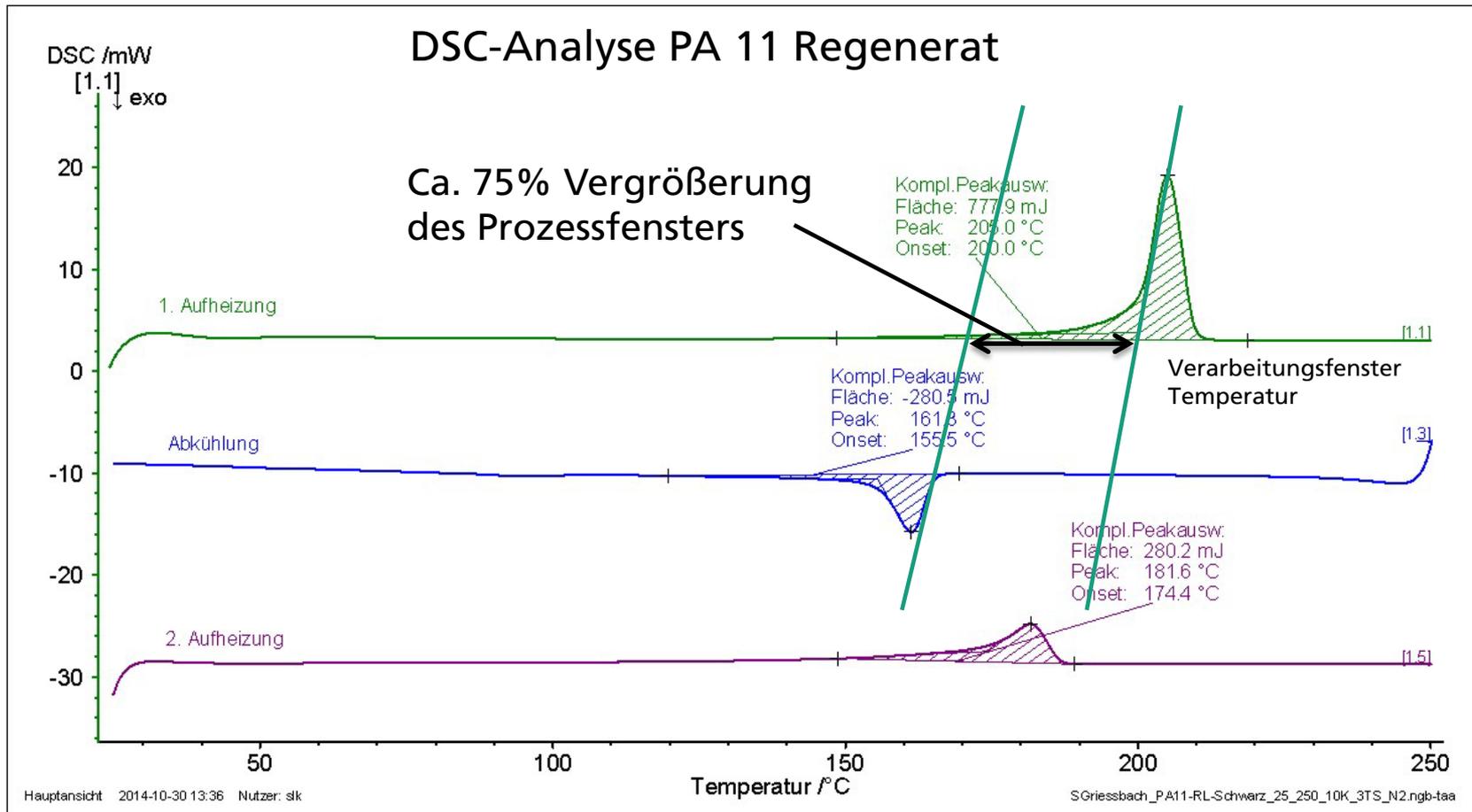


- Restpulver wird physikalisch wieder aufgearbeitet
- Höherer Kristallinitätsgrad als Neupulver (hilfreich für den Prozess)
- Verbesserte Kantenschärfe
- Höhere Kosteneffizienz
- Weniger Umweltbelastung
- Verbesserte bzw. neue Eigenschaftsprofile

# Vergleich Neupulver – Aufbereitetes Pulver

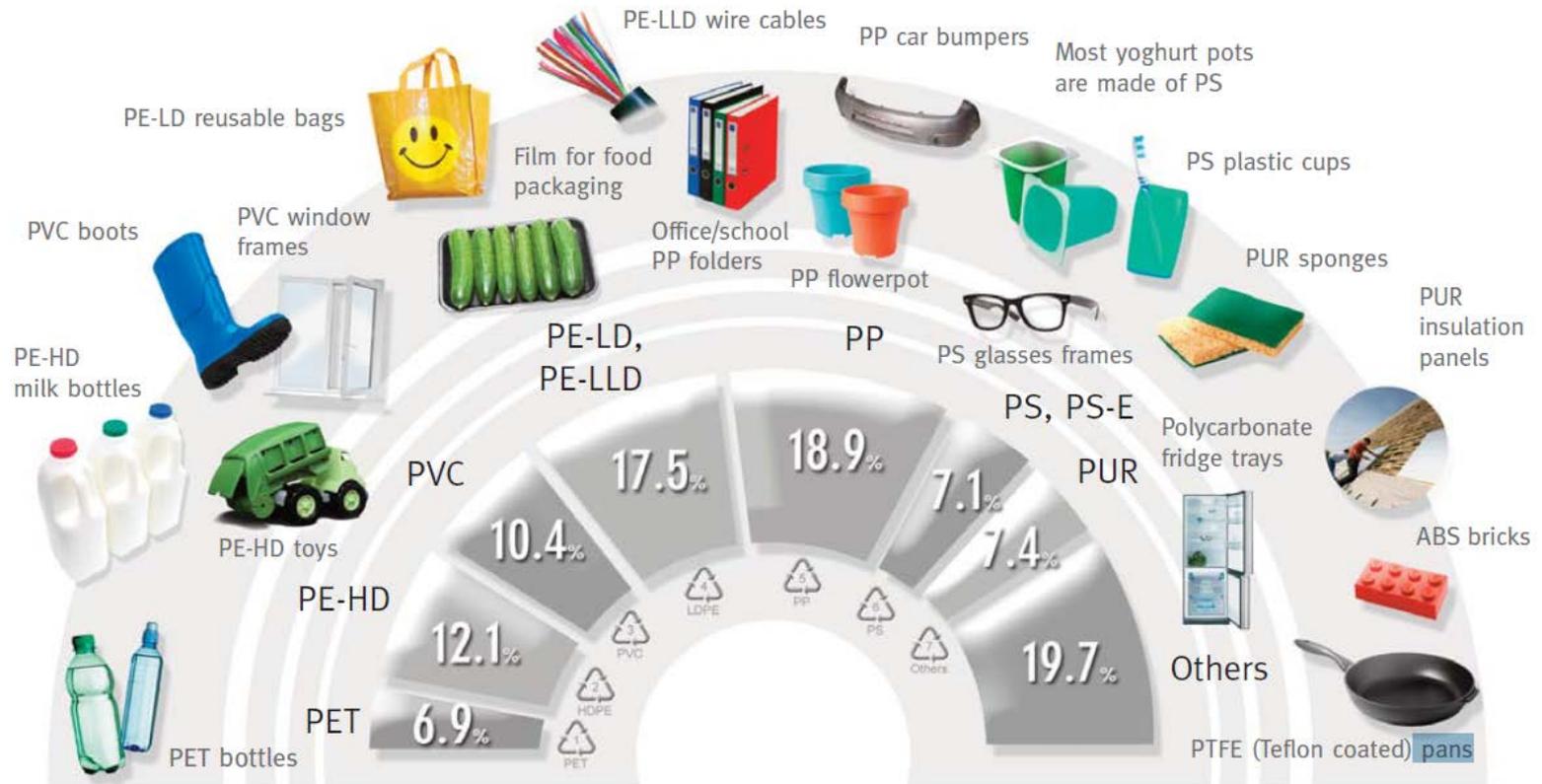


# Vergleich Neupulver – Aufbereitetes Pulver



# Kunststoffarten - Anteile an der Produktionsmenge in Europa 2013

PE & PP meist eingesetzte Kunststoffe → Material für additive Fertigung nicht verfügbar



European plastics demand\* by polymer type 2013

Source: PlasticsEurope (PEMRG) / Consultic / ECEBD

\* EU-27+NO/CH

Quelle: PEMRG

# Eigenschaften PP/PE im Vergleich PA-Sintermaterialien

## Polypropylen (PP)

Eigenschaft	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul
Einheit	[g/cm <sup>3</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Wert	0,90	18 - 49	1300 - 1800

## Polyethylen (PE-HD)

Eigenschaft	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul
Einheit	[g/cm <sup>3</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Wert	0,94 - 0,97	17 - 45	600 - 1100

## Polyethylen (PE-LD)

Eigenschaft	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul
Einheit	[g/cm <sup>3</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Wert	0,915 - 0,935	13 - 27	170 - 300

## DuraForm EX (PA 11)

Eigenschaft	Dichte	E-Modul
Einheit	[g/cm <sup>3</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Wert	1,01	1517

## DuraForm PA (PA 11)

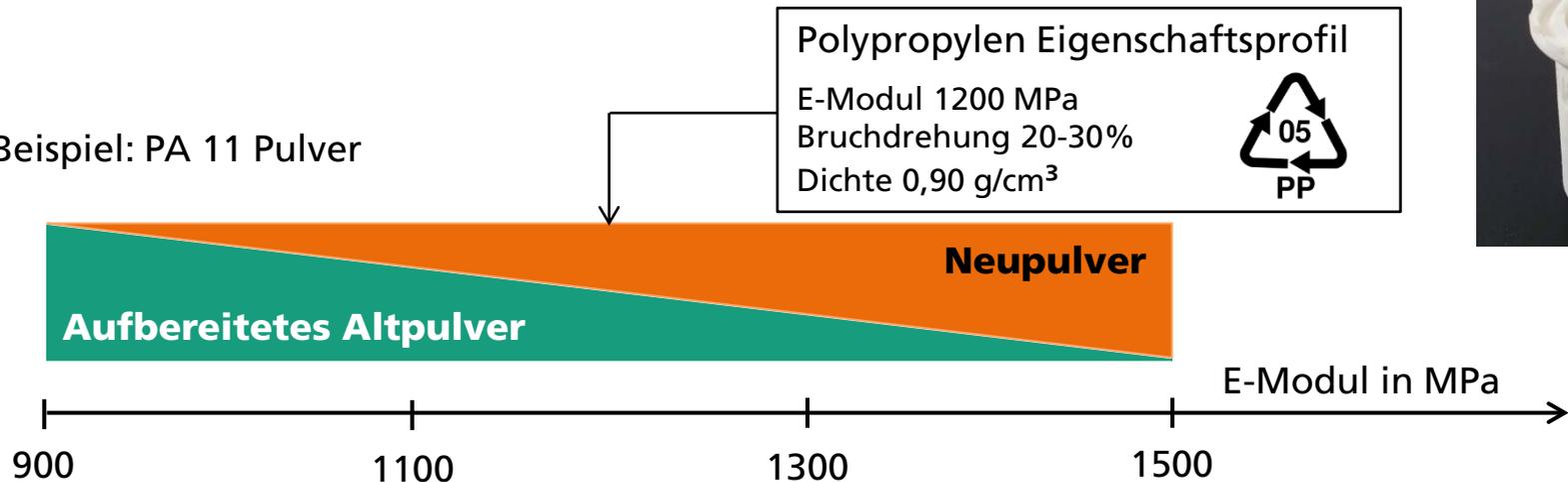
Eigenschaft	Dichte	E-Modul
Einheit	[g/cm <sup>3</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Wert	1,00	1586

# Verarbeitung von regeneriertem PA 11 Pulver

- Über den Einsatzgrad von Neu- zu Recyclingpulver sowie Variation der Prozessparameter können gezielt mechanische Kennwerte von momentan nicht sinterfähigen Materialien (z. B.: PP) eingestellt werden
- Erreichen von Bruchdehnung bis zu 80%
- Steigerung der Kennwerte durch Zumischung von Glaskugel, Glasfasern und auch Kohlenstofffasern

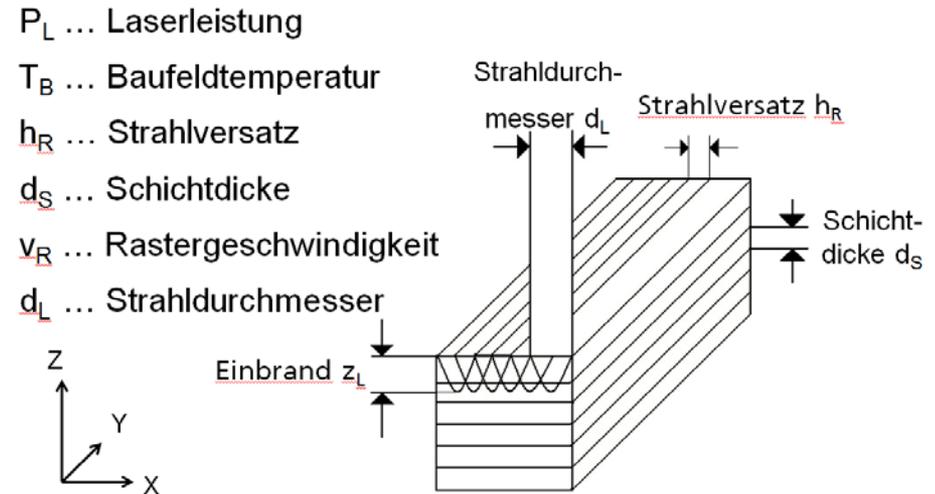


Beispiel: PA 11 Pulver



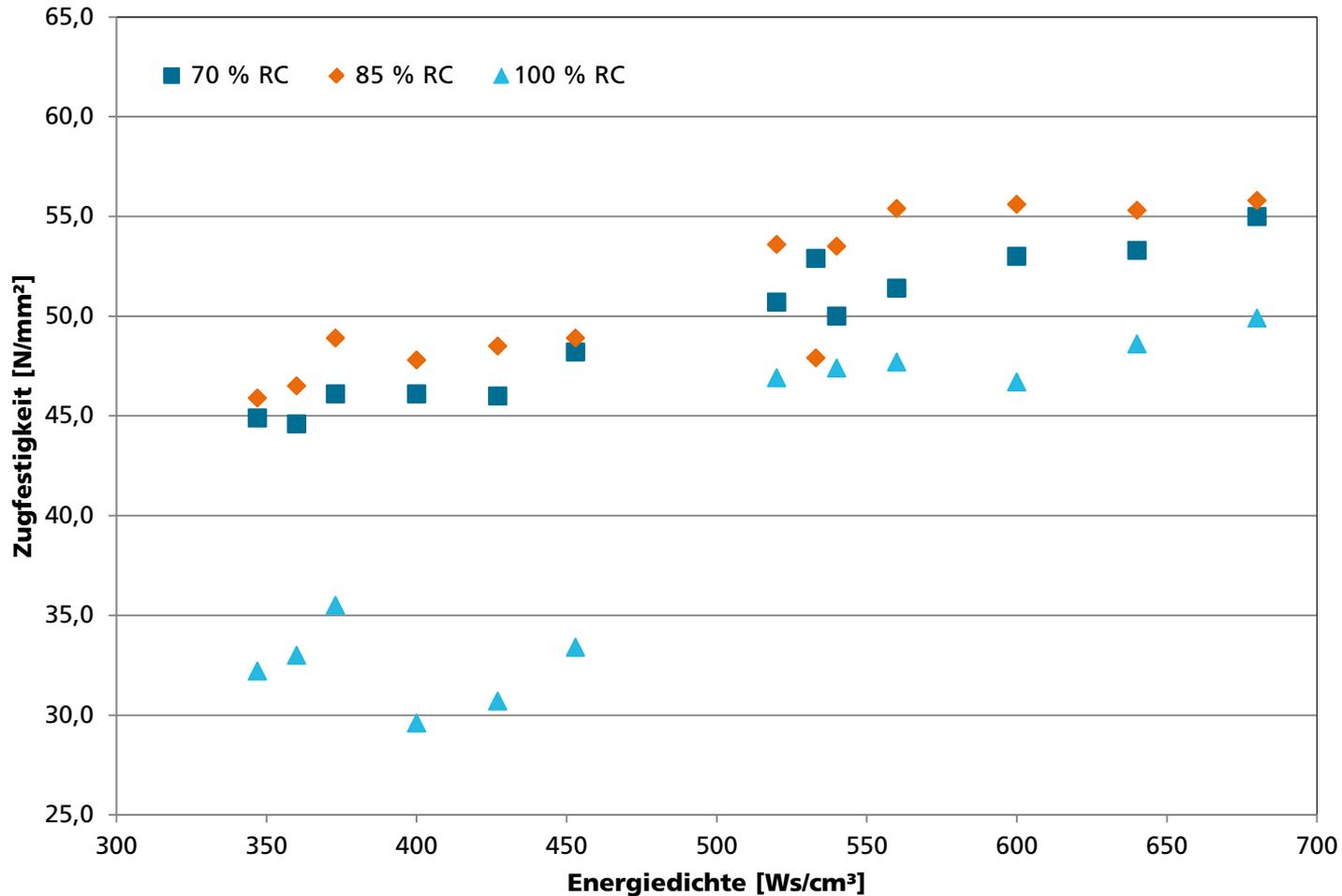
# Versuche unter Änderung der Prozessparameter

- Variation der eingebrachten Energie
  - Laserleistung
  - Baufeldtemperatur
  - Strahlversatz
- Variation der Schüttdichte des aufgebracht Pulvers
  - Rollergeschwindigkeit
- Variation der Pulveranteile Neupulver vs. Regeneriertes Pulver



# Ergebnisse: Einfluss Regeneratanteil und Energiedichte

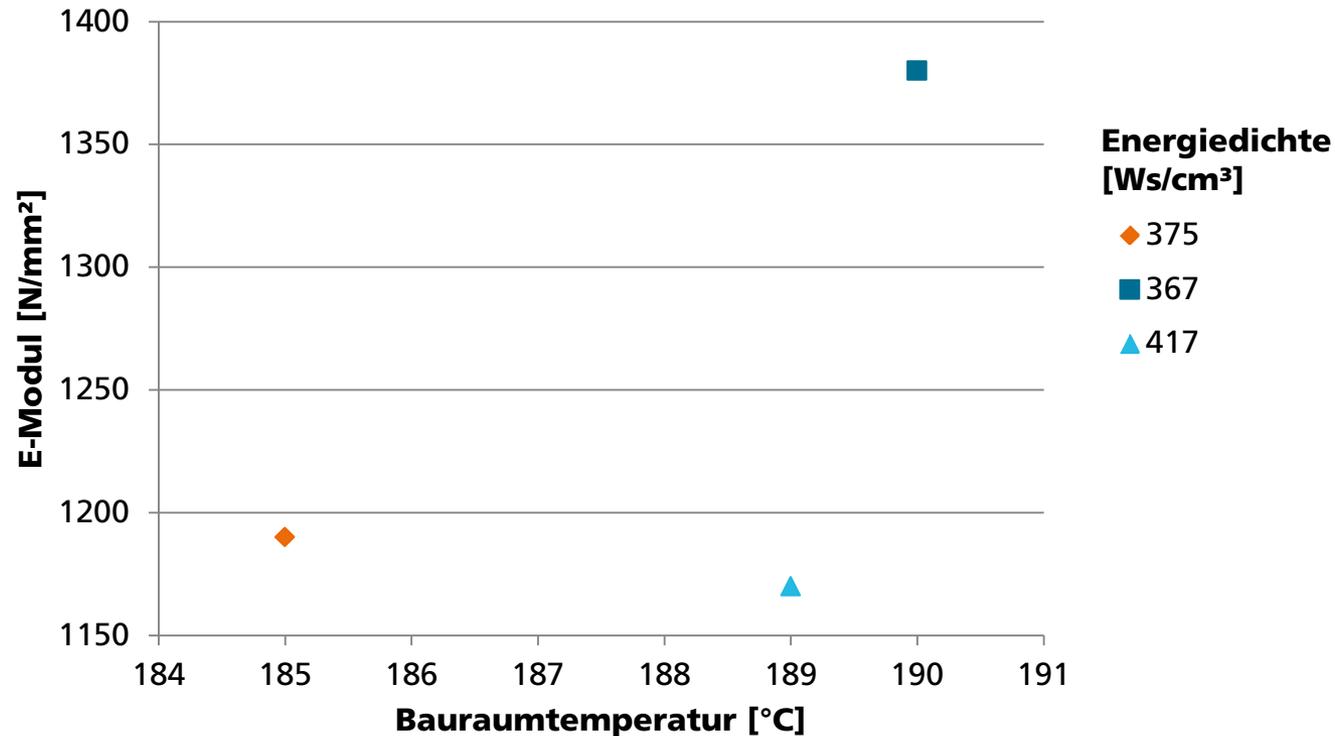
## Zugfestigkeit - Energiedichte



\* 85% RC bei 1 °C  
höherer  
Bauraumtemperatur

# Ergebnisse: Einfluss Pulvertemperatur und Energiedichte

## Elastizitätsmodul – Bauraumtemperatur – Energiedichte



# Ergebnisse

---

- Höherer Energieeintrag → bessere mechanische Eigenschaften
- Höherer Vorheiz- und Bauraumtemperaturen mit einem niedrigeren Energieeintrag → bessere mechanische Eigenschaften
- Höherer Anteil Neupulver → bessere mechanische Eigenschaften
- Zu hoher Energieeintrag → Zersetzungserscheinungen des Pulvers
- Höherer Anteil Regeneriertes Pulver → Vergrößerung des Prozessfensters
- Niedriger Energieeintrag bei 100% RC-Pulver liefert Teile mit guter Optik und PP-ähnlichen mechanischen Eigenschaften

# Zusammenfassung

---

- Deutliche Effizienzsteigerung durch den Einsatz von Regeneraten, kein Abfall
- Erweiterung des Eigenschaftsspektrums der Lasersinterbauteile durch Anpassung der Prozessparameter sowie des Regematanteils
- Einstellung von Elastizitätsmodul und Dichte → Generierung von PE und PP Eigenschaftsprofilen
- Erweiterung des Prozessverständnisse beim Laserinterverfahren
- Ausblick: Erzielen von PA6 – Kennwerten durch weitere Parameteroptimierungen

---

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

### **Dr.-Ing. M. Kausch**

Gruppenleiter des Fraunhofer  
Kunststoffzentrum Oberlausitz

Telefon: +49 (0) 3583 54086-4000

Telefax: +49 (0) 3583 54086-4012

Mobil +49 (0) 172 7471973

E-Mail: martin.kausch@iwu.fraunhofer.de

Fa. GS-PRO GmbH

Dr.-Ing. Sören Gießbach

Rabensteiner Straße 3

09224 Chemnitz-Grüna

Tel.: +49 (0) 371 77519507

Mobil: +49 (0) 151 41291180

E-Mail: info@gspro-gmbh.de

### **Dipl.-Ing. (FH) Tobias Sauerstein**

Wiss. Mitarbeiter des Fraunhofer

Kunststoffzentrum Oberlausitz

E-Mail: Tobias.Sauerstein@iwu.fraunhofer.de