

Strahlenvernetzung - Aufwertung von technischen Biopolymeren

Jan Kuckuck, 20. November 2025

Aus der IfBB-Webinarreihe: „Biowerkstoffe im Fokus!“
unter der Leitung von
Prof. Dr.-Ing. Andrea Siebert-Raths
Moderation: Dr. Lisa Mundzeck



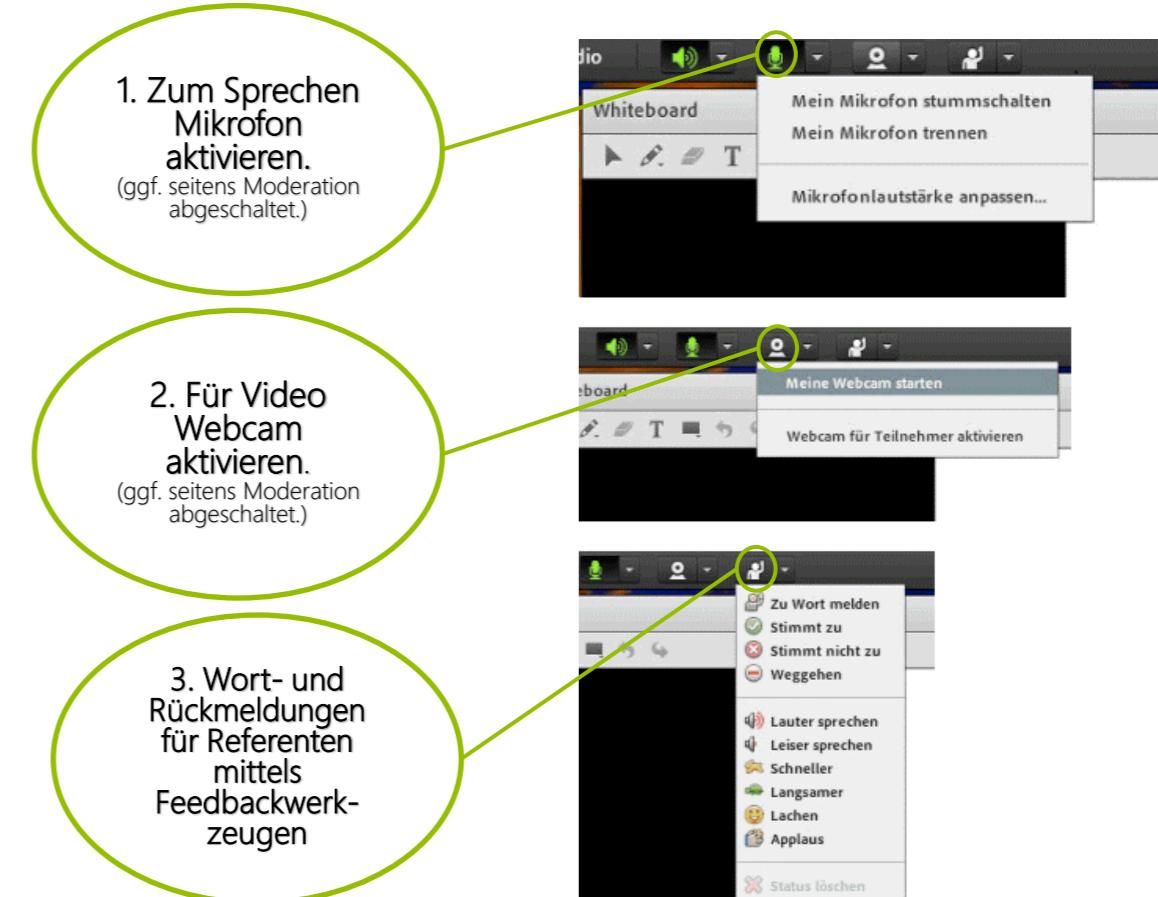
IfBB

Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Ablauf

- Dauer ca. 30 Minuten
- Webinar wird aufgezeichnet
- Fragen während des Vortrags: bitte das Modul „Chat“ nutzen
- Fragen werden gern am Ende des Vortrags beantwortet





-
- 1. Allgemeine Informationen und Projektkontext**
 - 2. Grundlagen zur Strahlenvernetzung**
 - 3. Materialprüfungen und Ergebnisse**
 - 4. Ergebnisse der Bauteilprüfungen**

Projektkontext HoT-BRo2

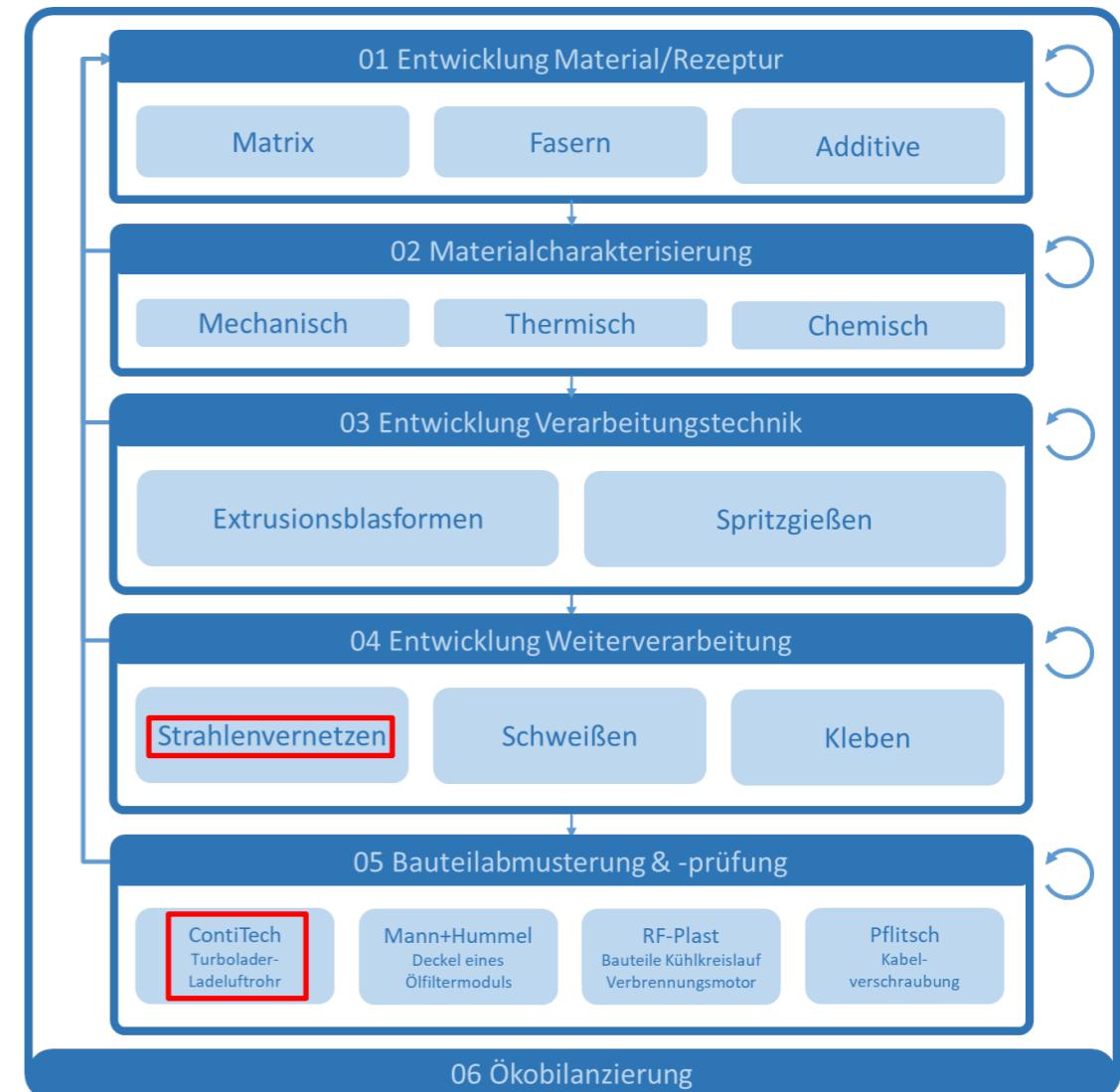
Allgemeine Informationen und Ziele

- Projektkontext HoT-BRo2
 - **Biokunststoffe für Hochtemperaturanwendungen** - Aufwertung der Materialeigenschaften von thermoplastischen Biokunststoffen und Bioverbundwerkstoffen für Hochtemperaturanwendungen
 - Laufzeit: 01.04.2021 bis 31.07.2024
 - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
 - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) – FKZ: 2219NR216

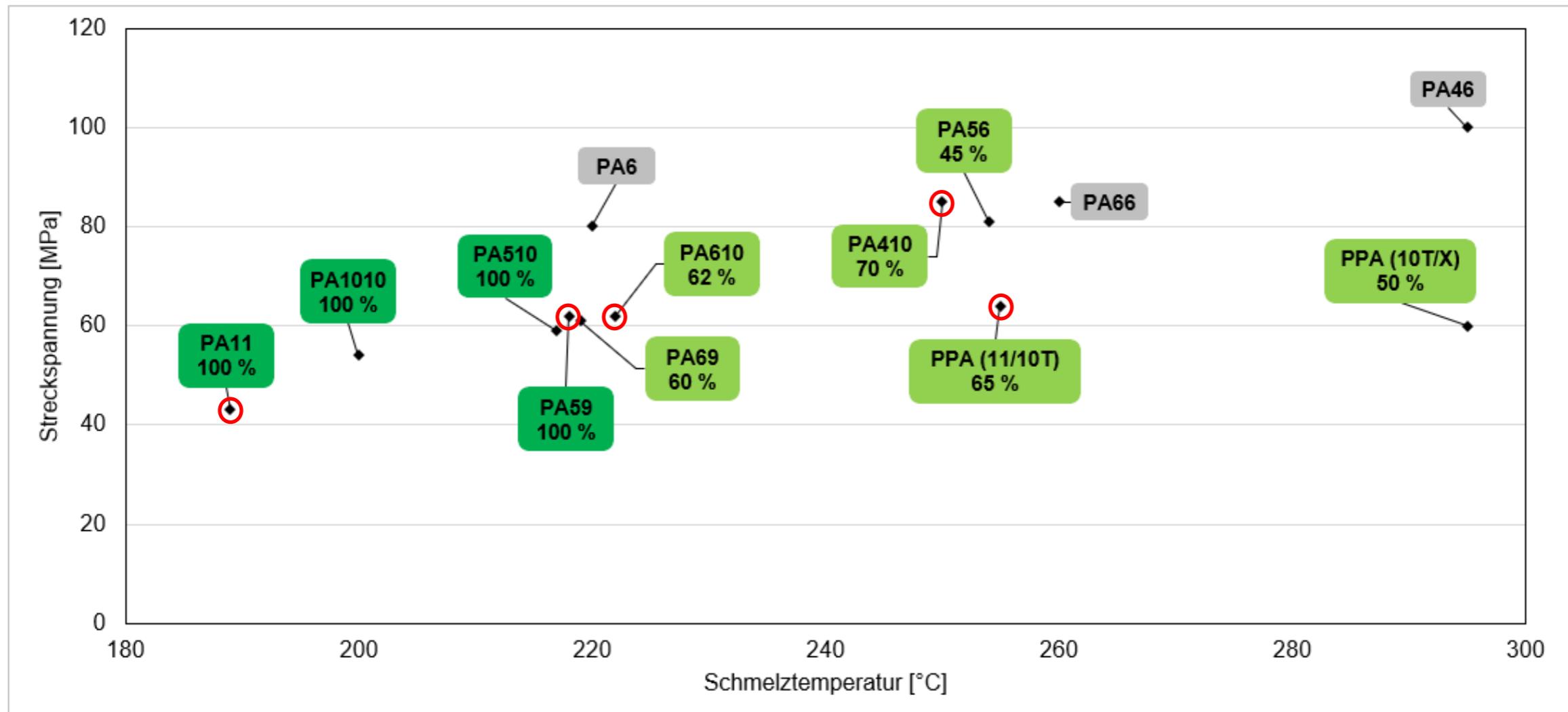


Webinare zum Projekt HoT-BRo2: 64, 75, 81 und 85

<https://www.ifbb-hannover.de/de/webinare.html>



Übersicht Bio-PA



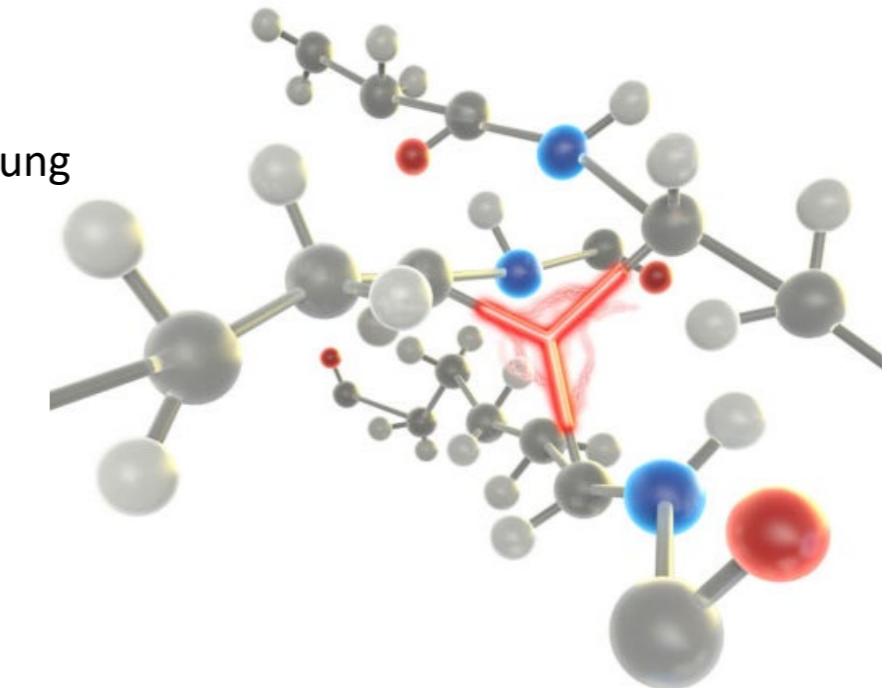


Grundlagen der Strahlenvernetzung

Strahlenvernetzung – Was ist das?

BGS Beta-Gamma-Service GmbH & Co. KG

- Strahlenvernetzung mit Gammastrahlung
- Strahlenvernetzung von Kunststoffen mit ionisierender Beta- bzw. Elektronenstrahlung
 - Hohe Dosisleistungen (50 – 250 kGy)
 - Applizierung auf Material innerhalb von Sekunden
 - Geringere Eindringtiefe/Durchdringung des Materials (≤ 6 cm bei 10 MeV und $1,0 \text{ g/cm}^3$ Materialdichte)



Quelle: Fa. BGS

Was passiert in thermoplastischen Kunststoffen bei der Bestrahlung?

- Ausbildung eines irreversiblen dreidimensionalen Netzwerks
- Vernetzung findet in der Regel in den amorphen Bereich statt
- In Abhängigkeit der Molekularstruktur ist Zugabe eines Vernetzungshilfsmittels notwendig
 - Additiv nicht notwendig: PE, TPE-E
 - Additiv notwendig: PA, PP, PBT, PVDF

1 Gy (Gray) = 1 J/kg (Joule/kg)

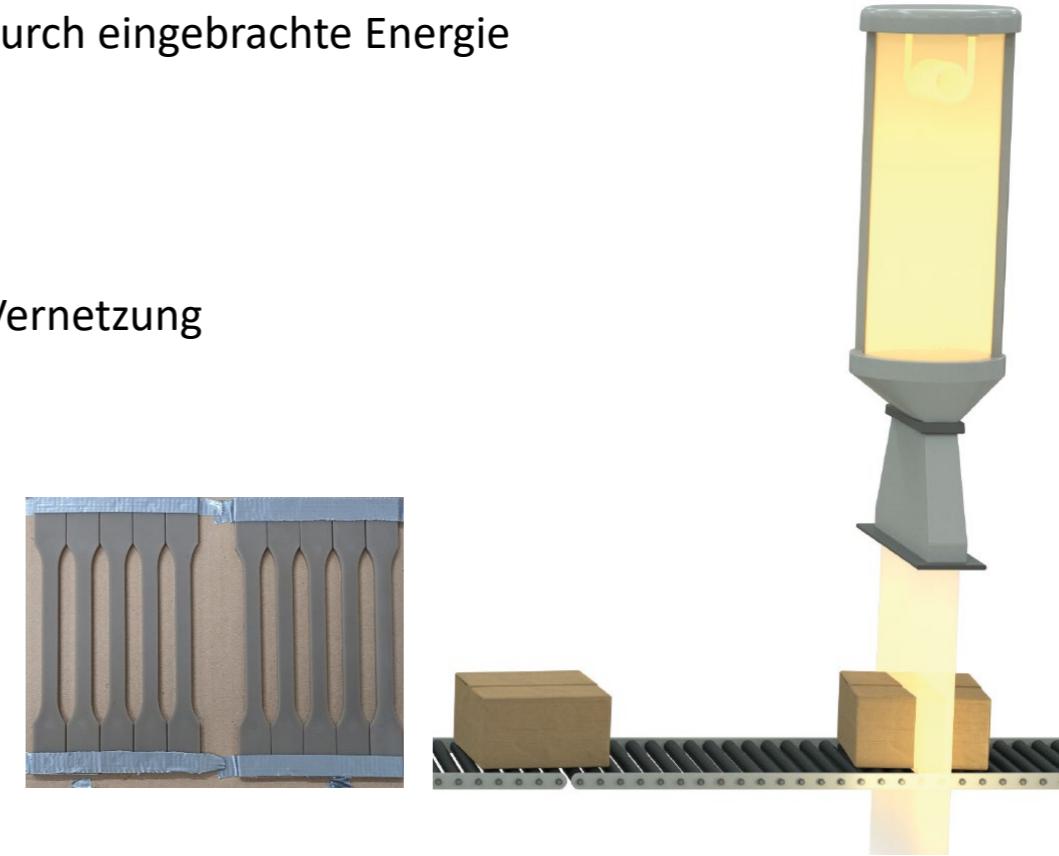
Strahlenvernetzung – Die Technologie

Die Reaktion auf molekularer Ebene

- Abspaltung von Wasserstoffatomen aus den Kunststoffkettenmolekülen durch eingebrachte Energie
- Bildung von freien Radikalen
 - Ausschließlich durch Anregung der Kunststoffmoleküle (ohne Additiv)
 - Durch Anregung der Kunststoffmoleküle und des Vernetzungsadditivs
- Entstehung von neuen kovalenten Bindungen durch radikalische (Quer-) Vernetzung

Umsetzung mittels Elektronenbeschleuniger

- Glühkatode emittiert Elektronen
- Beschleunigung durch elektrisches Feld
- Auffächerung durch magnetisches Feld vor Auftreffen auf Material
- Mögliche Bestrahlung von Kartonagen, Bauteilen, Schüttgütern oder gewickeltem Stranggut

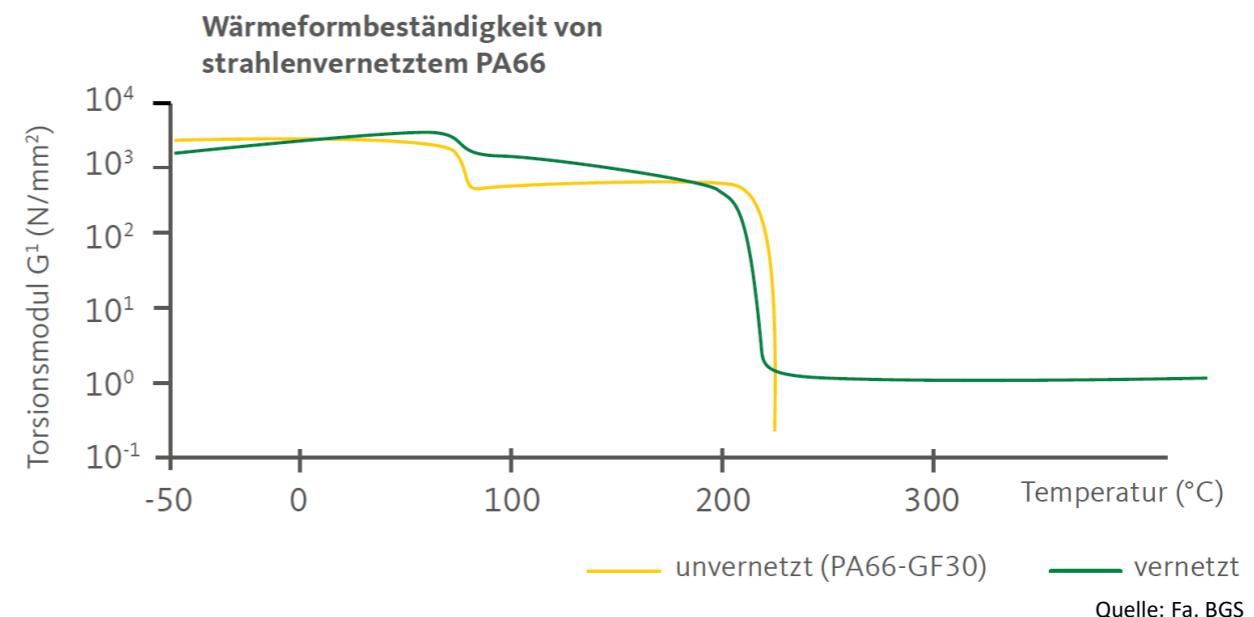


Effekte der Strahlenvernetzung

Mögliche Eigenschaftsverbesserungen von Kunststoffen

- Verbesserte Festigkeits- und Kriecheigenschaften
- Verbesserte Glasfasereinbettung
- Verbesserung der Wechselbiegefestigkeit
- Höhere Wärmeformbeständigkeit und Dimensionsstabilität
- Verbesserung der Alterungsbeständigkeit
- Verbesserung der chemischen Resistenz
- Reduktion der Quellung und verbesserte Spannungsrißbeständigkeit
- Verbesserung der tribologischen Eigenschaften, insbesondere Reibung und Verschleiß

Restspeichermodul über der Schmelztemperatur

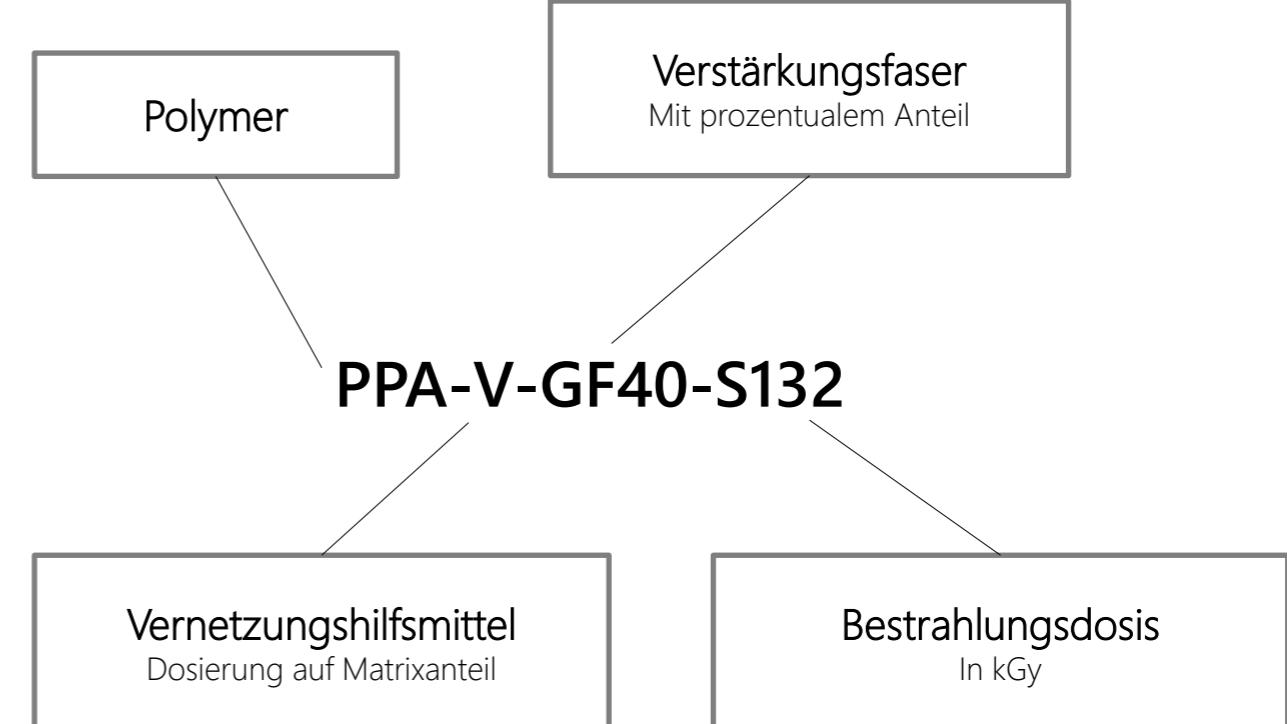




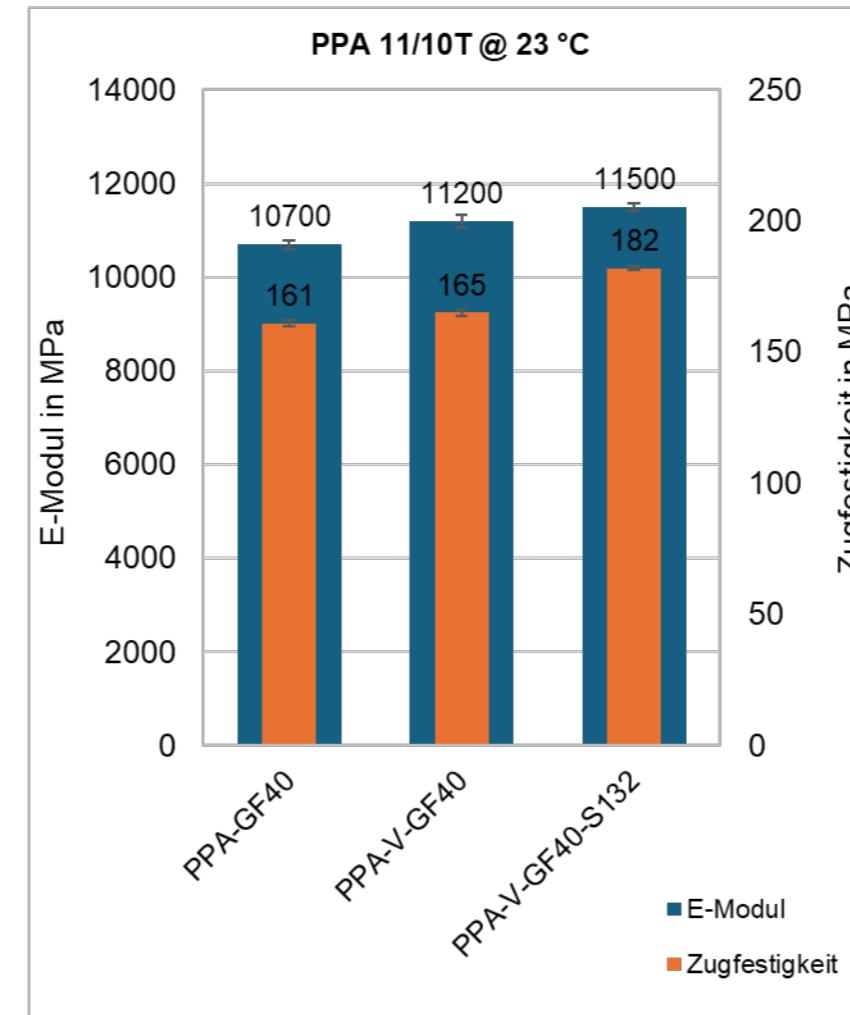
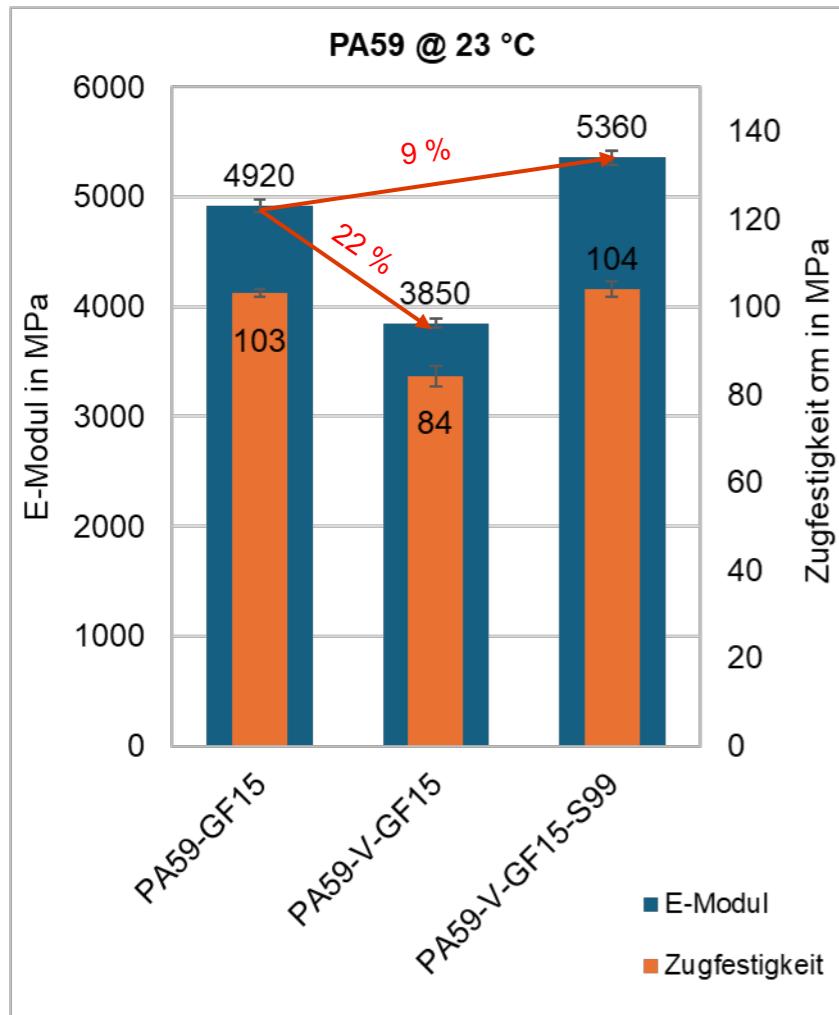
Materialprüfungen und Untersuchungen

Vernetzungshilfsmittel-Masterbatch

- Experimentelles Masterbatch (Evonik)
 - TAICROS®
 - PA610 Matrix
 - Beladung ca. 1/3
- Kommerzielle Masterbatches
 - Oft PA6 Matrix
 - Beladung im Bereich von 50 – 60 %



Einfluss Masterbatch - PA610-Matrix



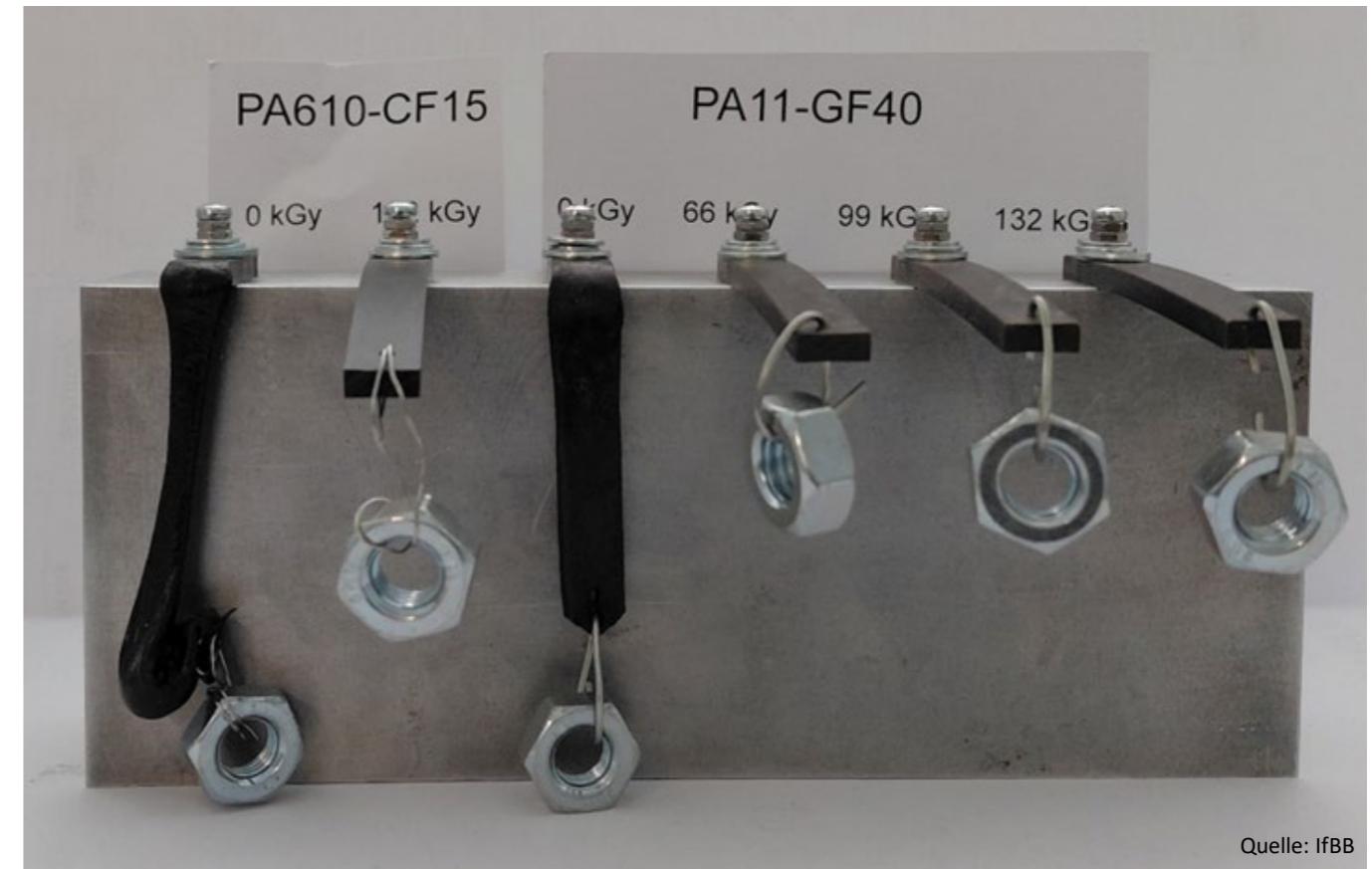
Kompatibilität/Mischbarkeit mit biobasierten Matrices

- Nach eigenen Studien und Literatur
 - PA11
 - PA1010
 - PA610
 - PPA 11/10T
 - PA410

Demonstrator zur Wärmeformstabilität

Verhalten vernetzter Compounds über T_m

- Zwei Compounds
 - PA610-CF15 ($T_m \approx 220 \text{ }^\circ\text{C}$)
 - PA11-GF40 ($T_m \approx 189 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Prüfbedingungen
 - 80 mm Prüfkörper
 - Erwärmung auf 250 $^\circ\text{C}$ (ca. 45 min)
 - Halten für 10 min bei 250 $^\circ\text{C}$
- Unterschiede für die Bestrahlungsdosen 66 – 132 kGy



Quelle: IfBB

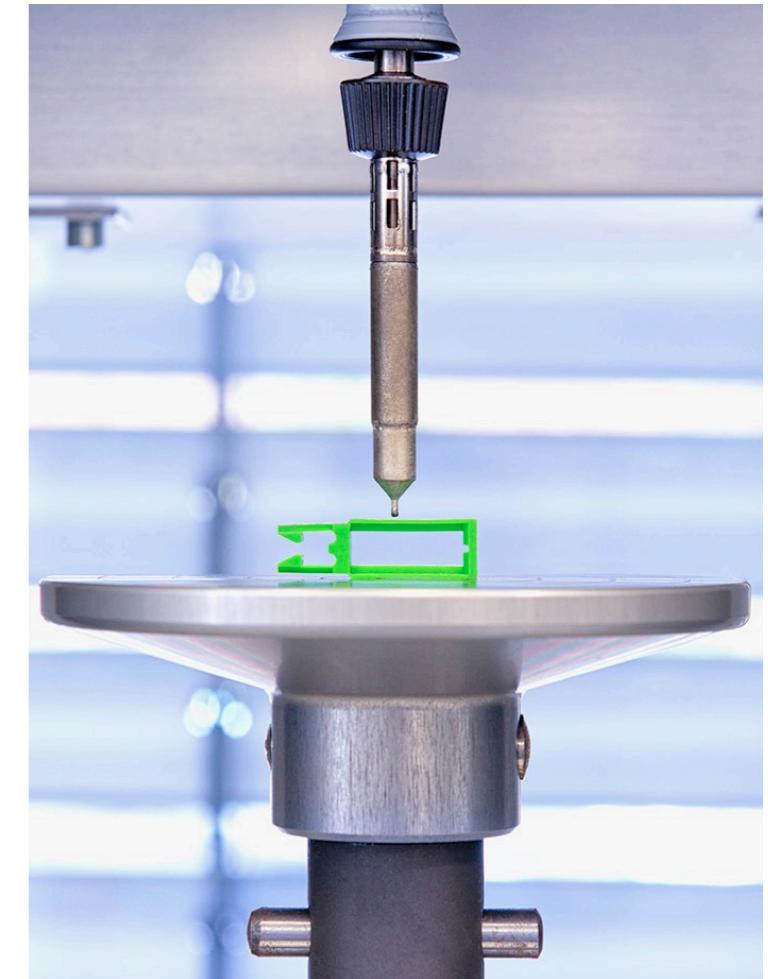
Wie kann eine erfolgreiche Vernetzung untersucht werden?

Lötkolbentest/Eindringtiefetest

- Eine Lötkolbenspitze wird definiert auf einen Prüfkörper gedrückt
 - Temperatur Prüfspitze = 350 °C
 - Fläche Spitze = 1 mm²
 - Prüfgewicht = 1 kg
 - Messdauer = 5 s
- Messung der Eindringtiefe

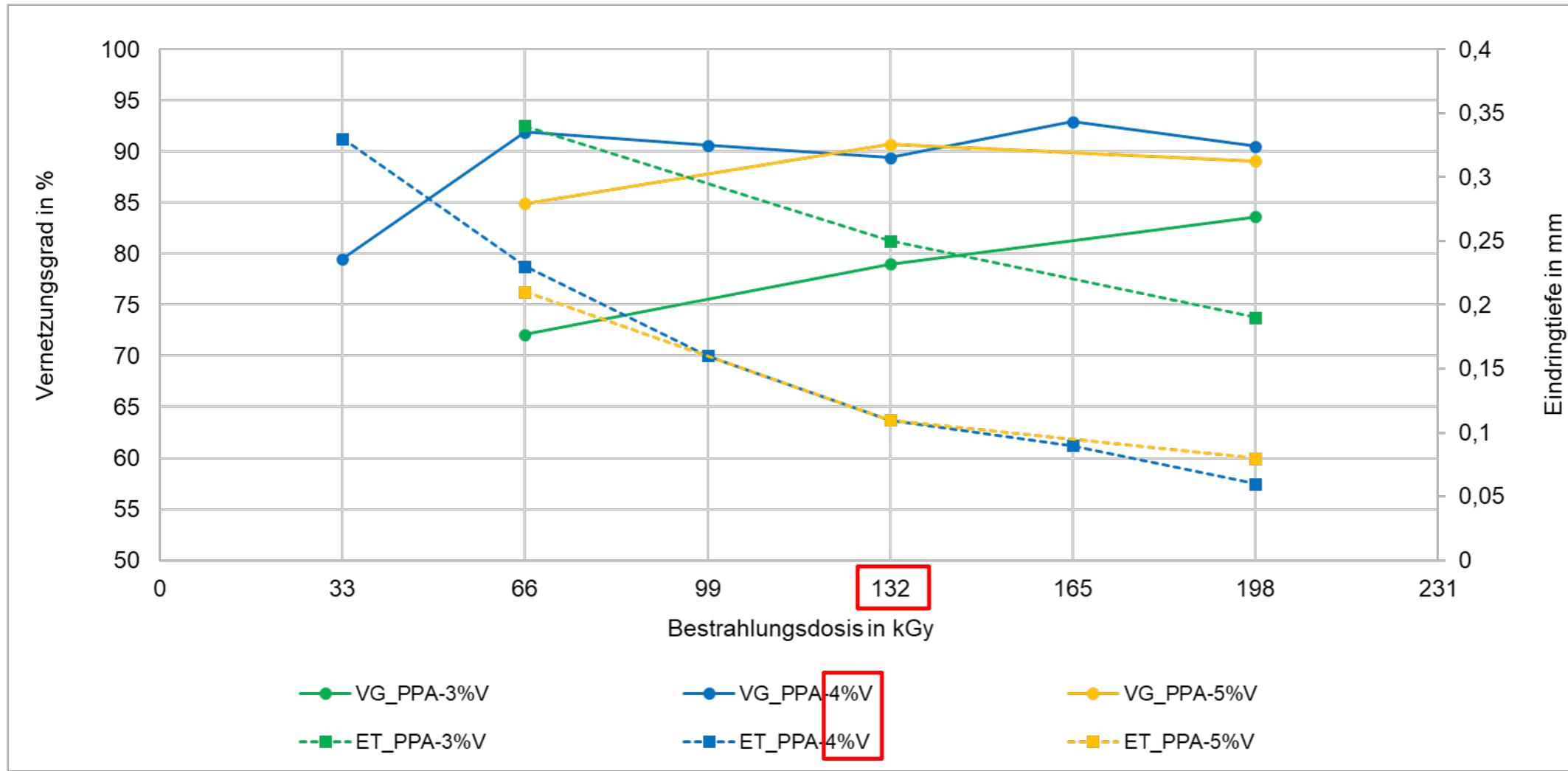
Bestimmung des Vernetzungsgrades (Gelanteil)

- In Anlehnung an DIN EN ISO 10147:2013-03
- Auflösung des Polymers in geeignetem Lösemittel (PA/PPA → Ameisensäure)
- Gravimetrische Bestimmung des Gelanteils

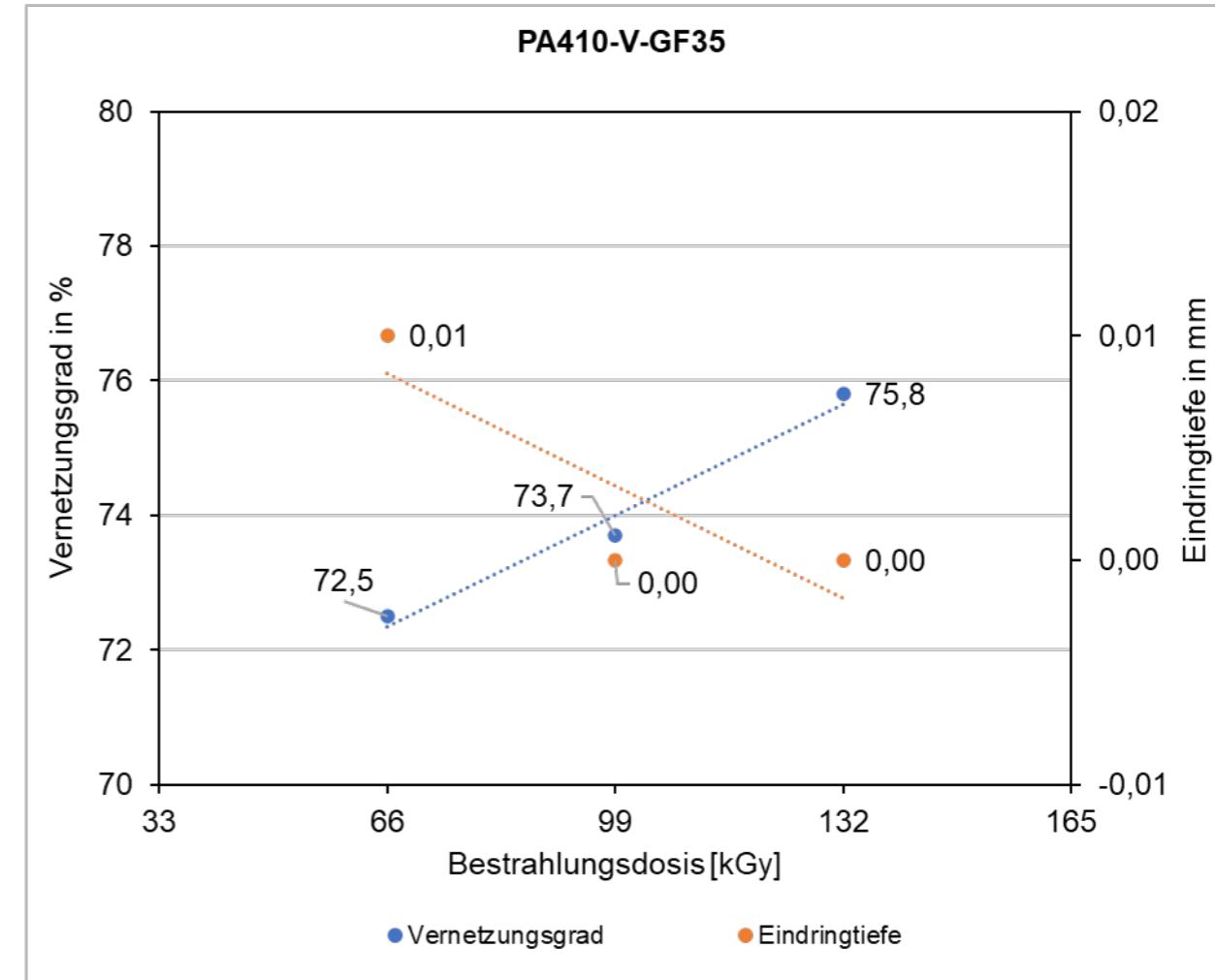
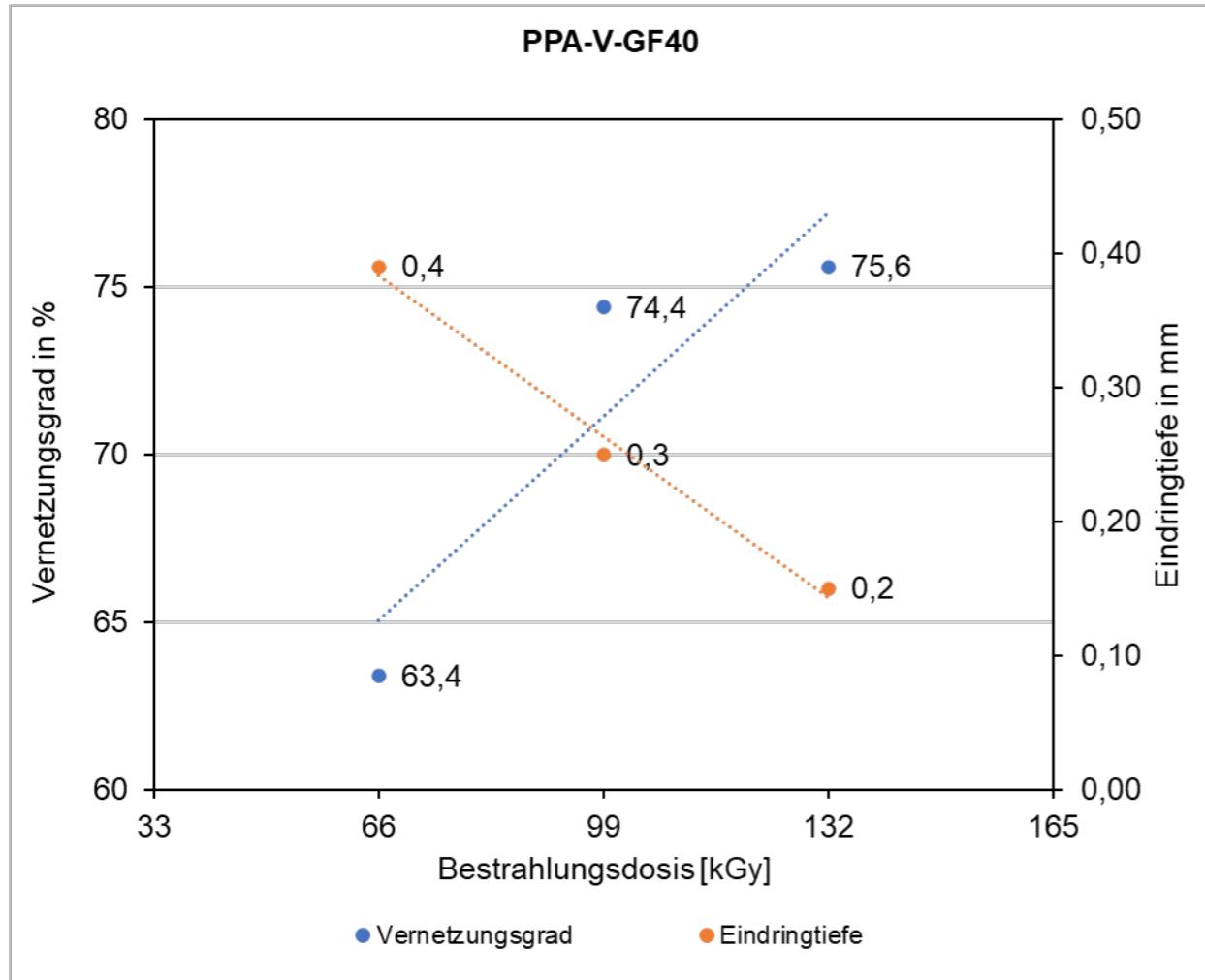


Quelle: Fa. BGS

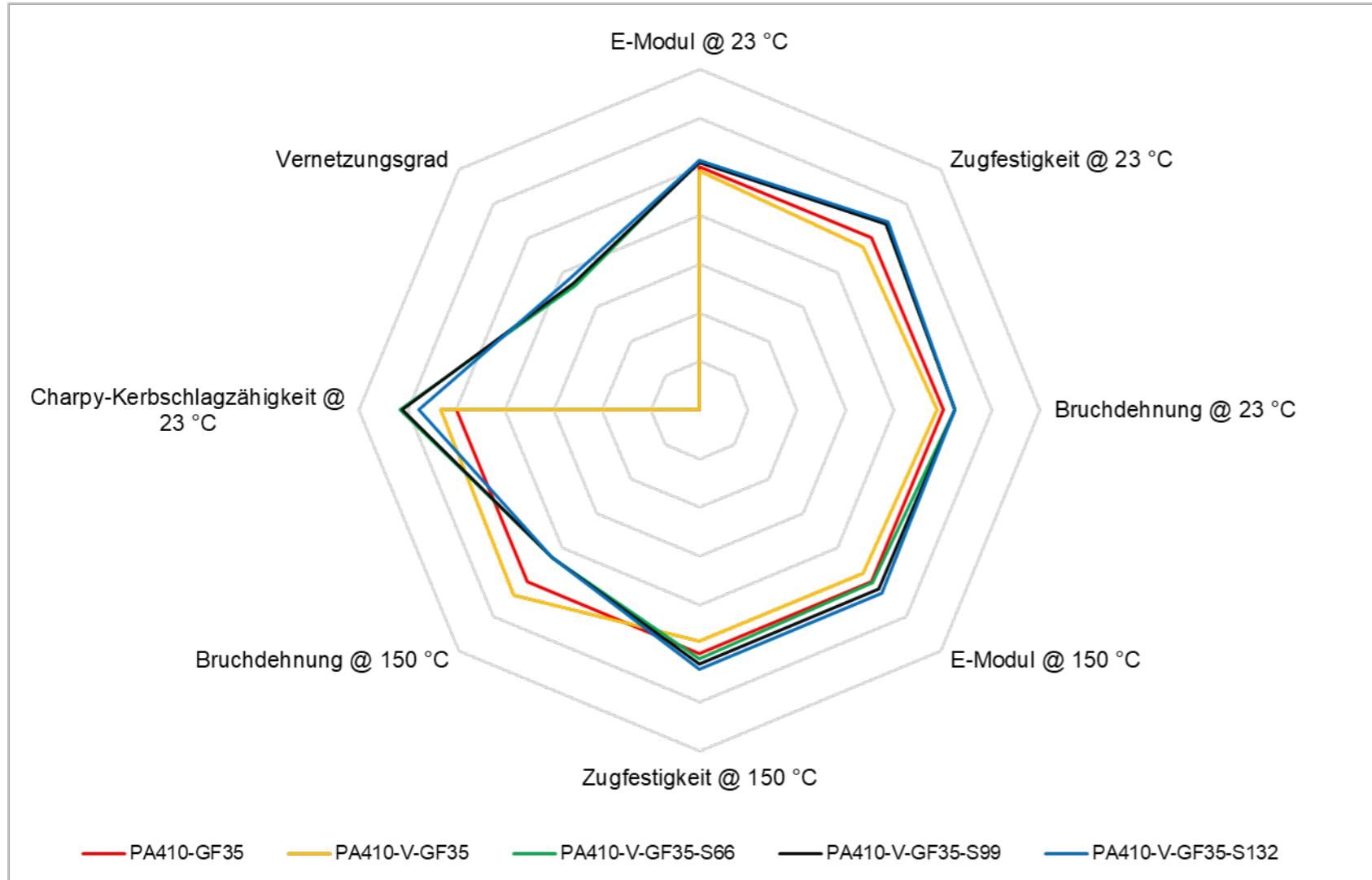
Parameterstudie PPA – Vernetzungsgrad und Eindringtiefe



PPA- und PA410-Compounds – Vernetzungsgrad und Eindringtiefe



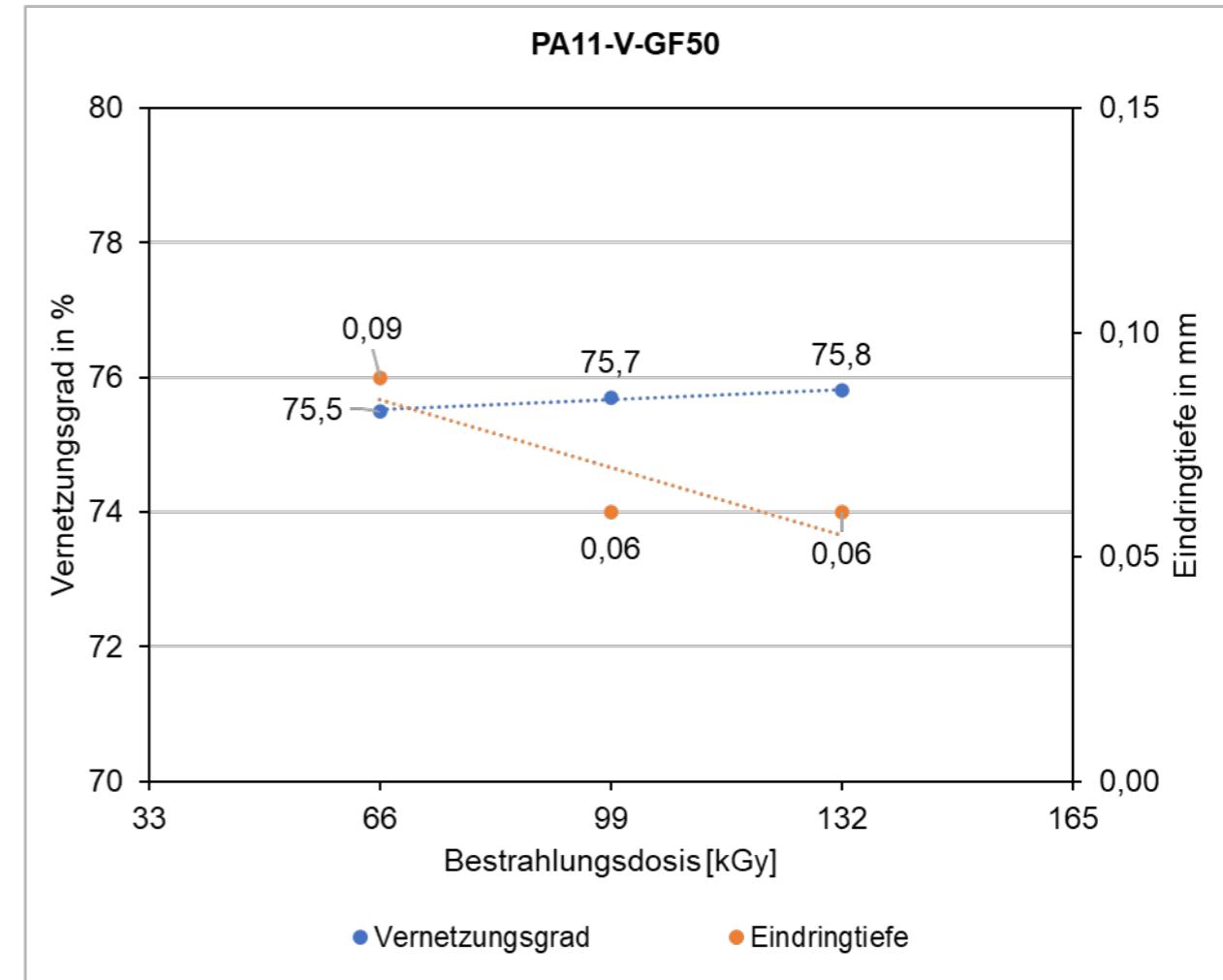
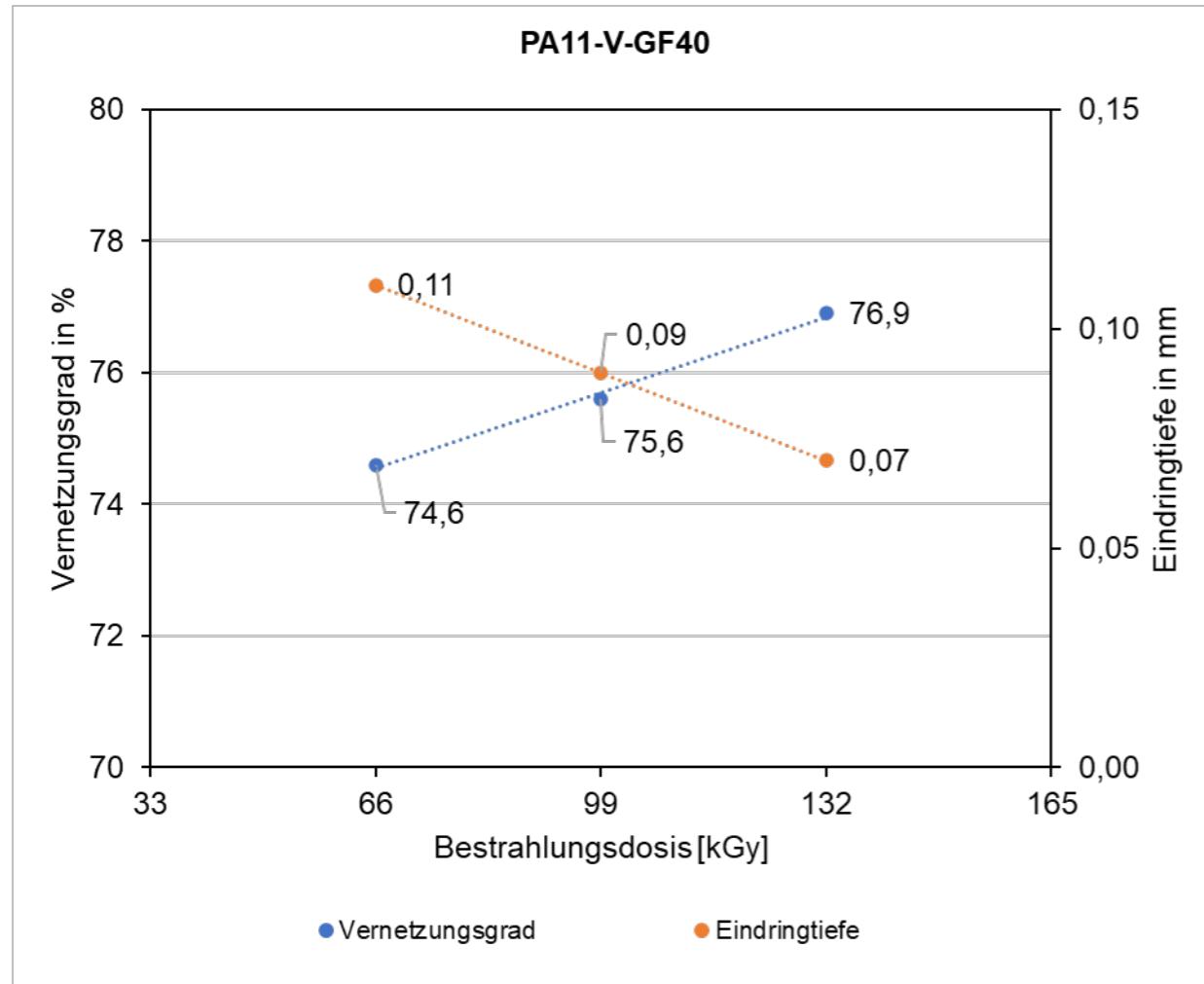
PA410-Compounds – Vergleich der Kennwerte



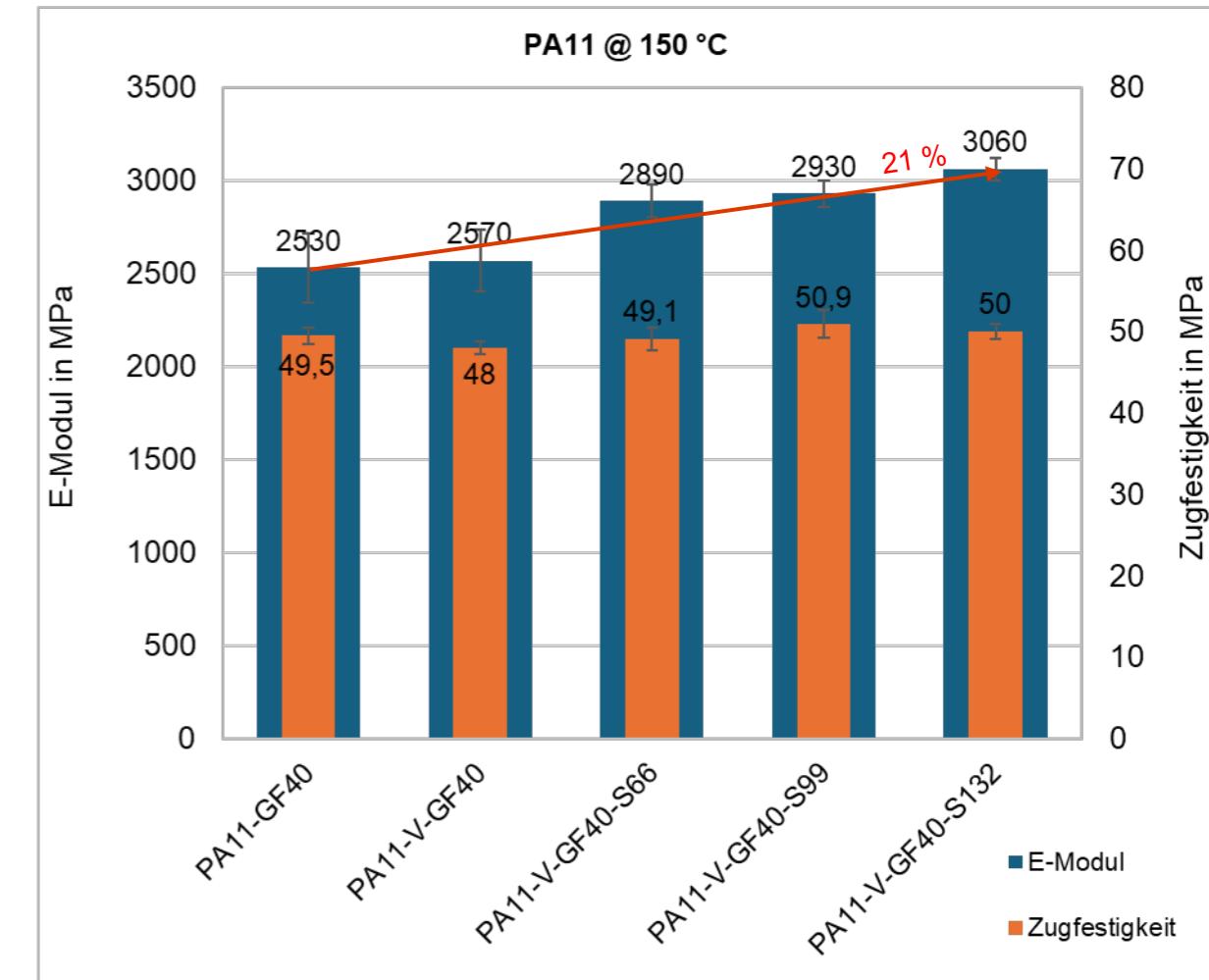
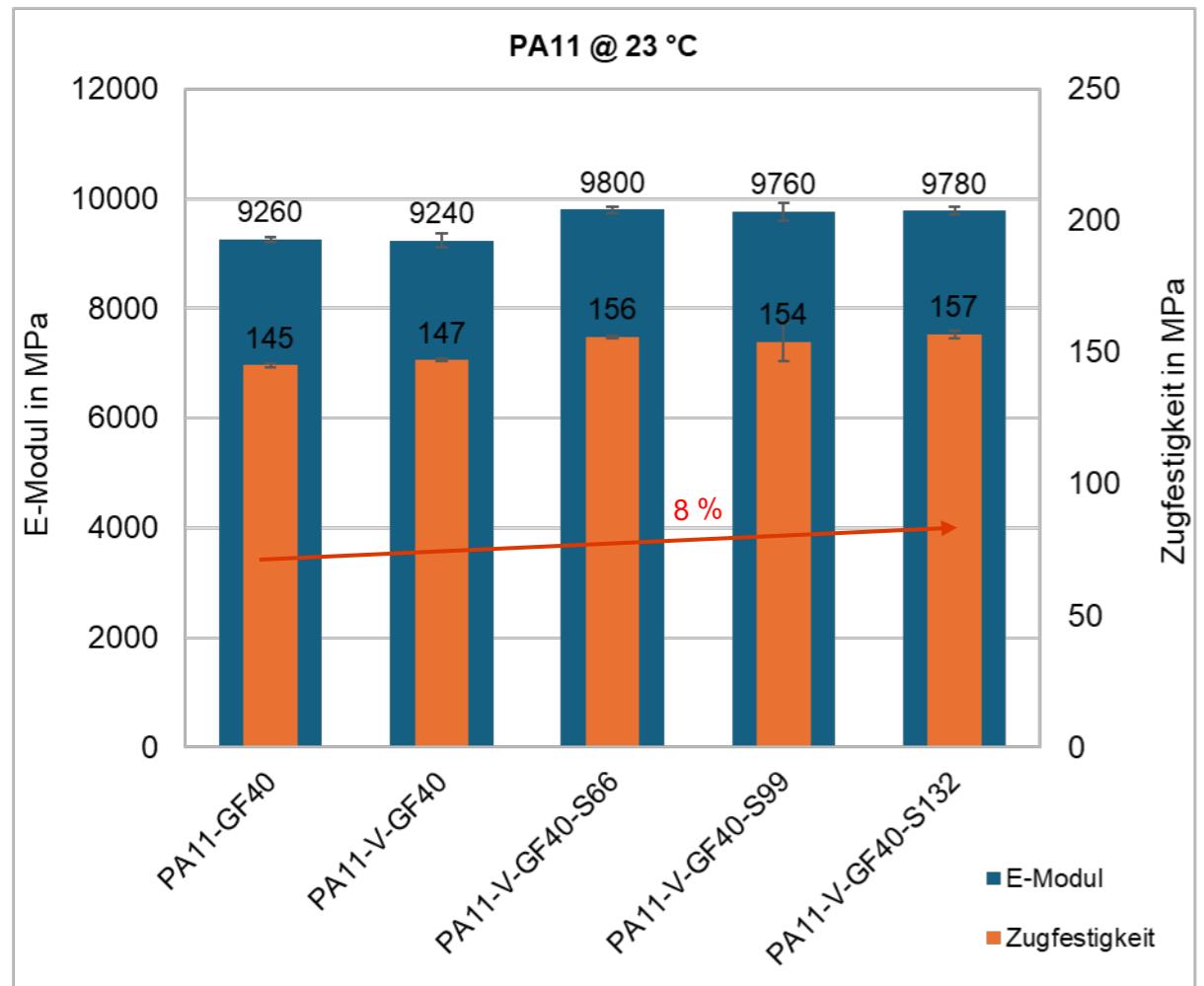
Prozentuale Veränderungen

- PA410-V-S132
 - Zugfestigkeit 23 °C: 9,3 %
 - Zugfestigkeit 150 °C: 6,4 %
- Kerbschlagzähigkeit
 - PA410-V-S66: 22,9 %

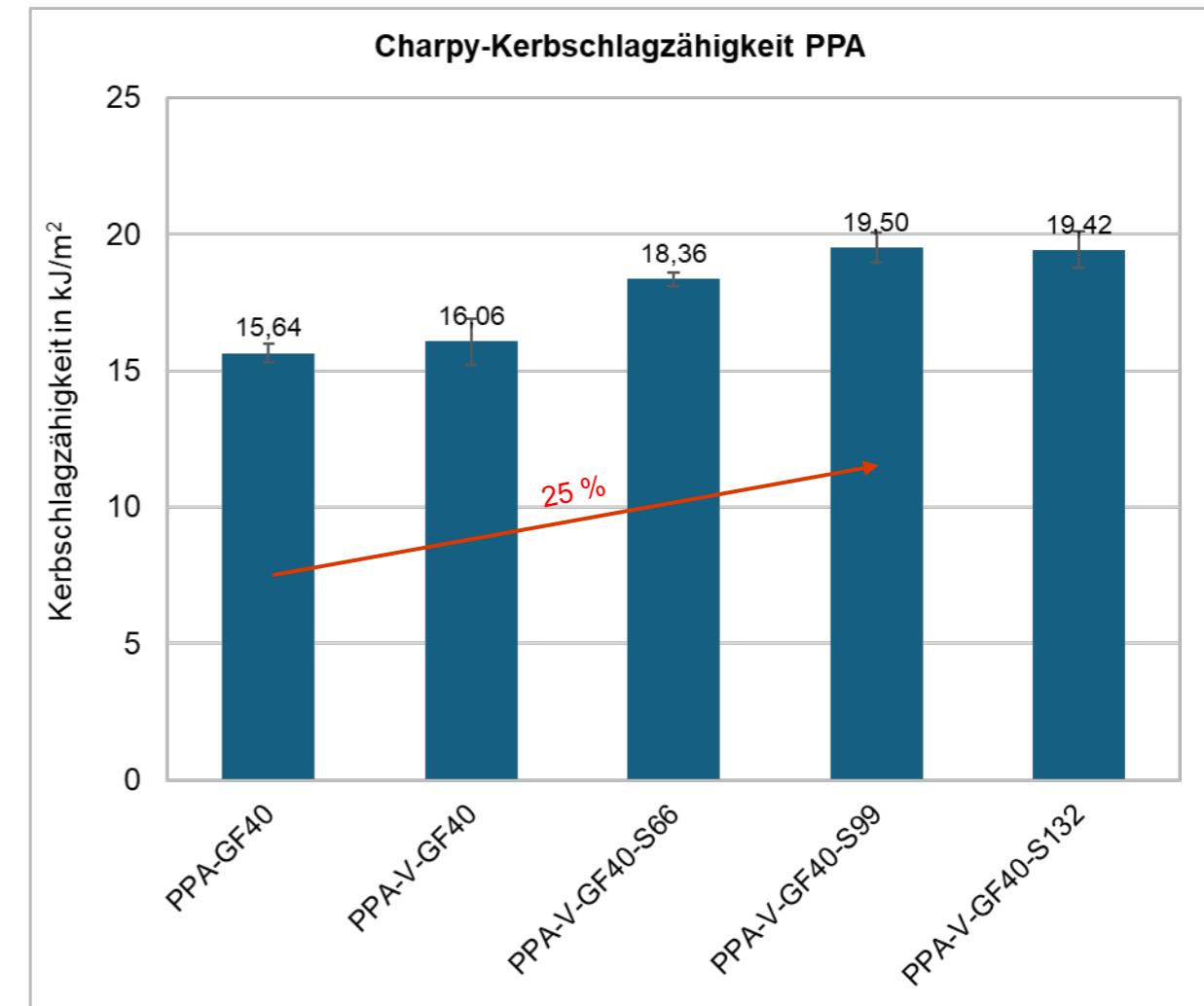
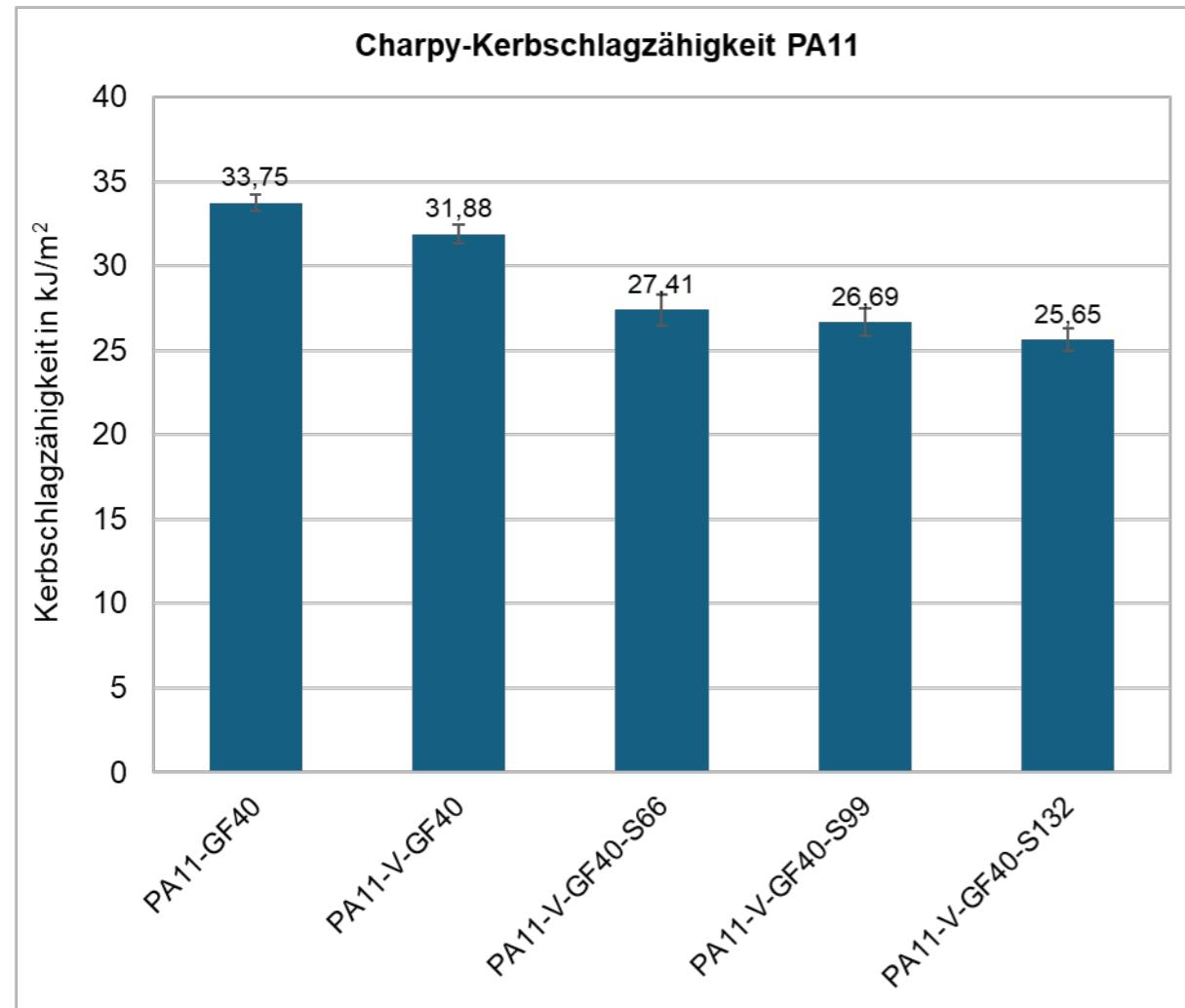
PA11-Compounds – Vernetzungsgrad und Eindringtiefe



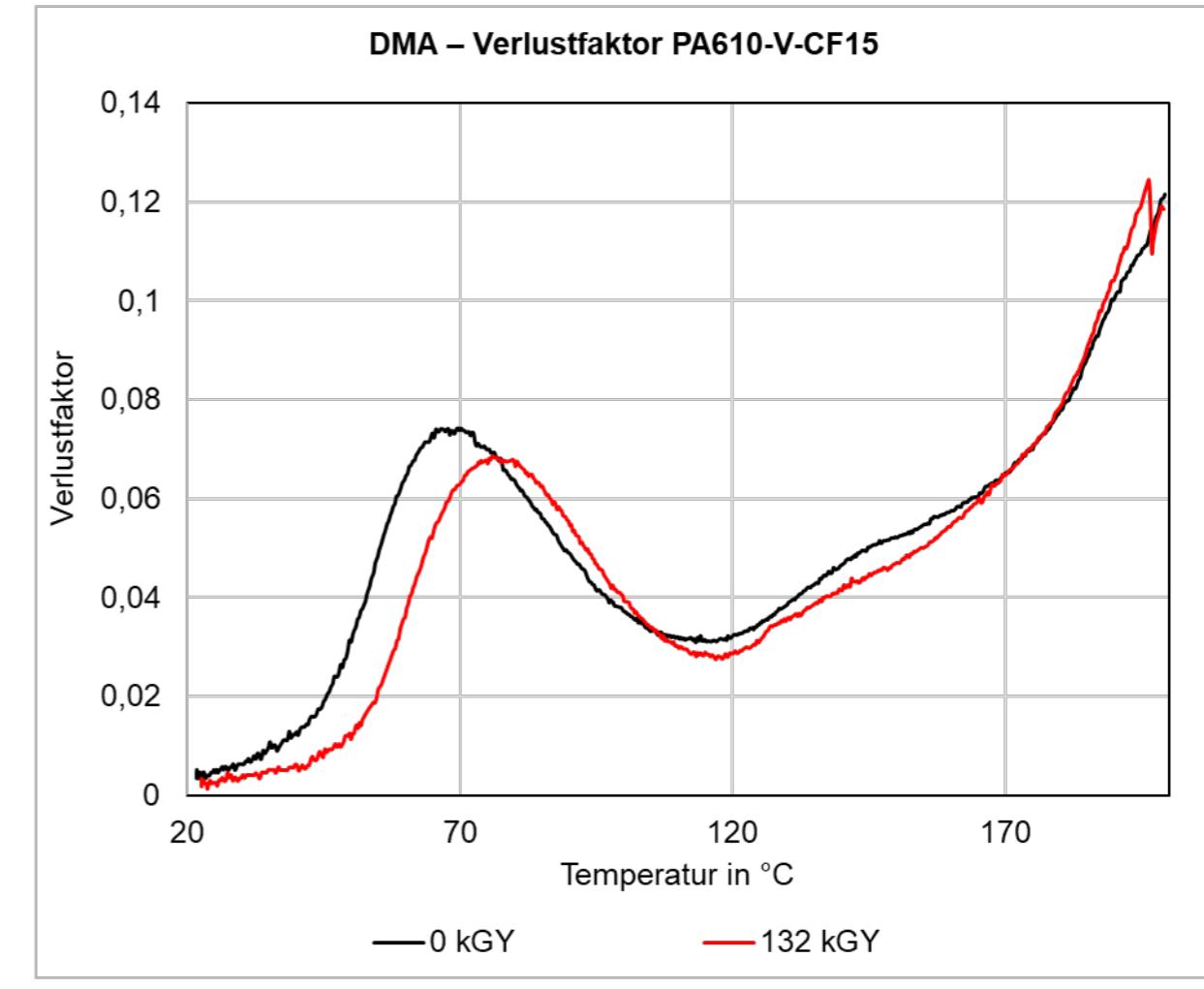
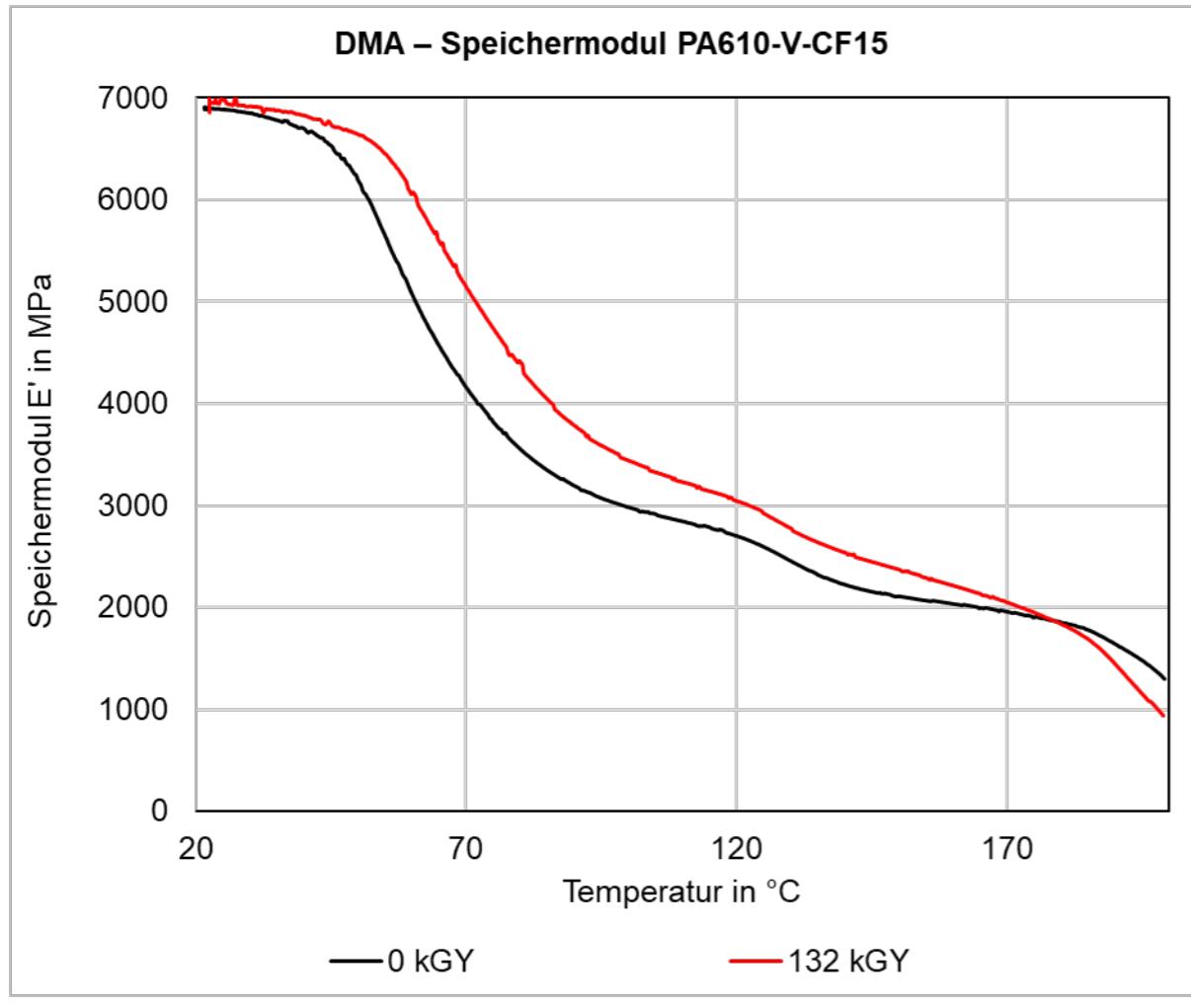
PA11-Compounds – Zugversuch



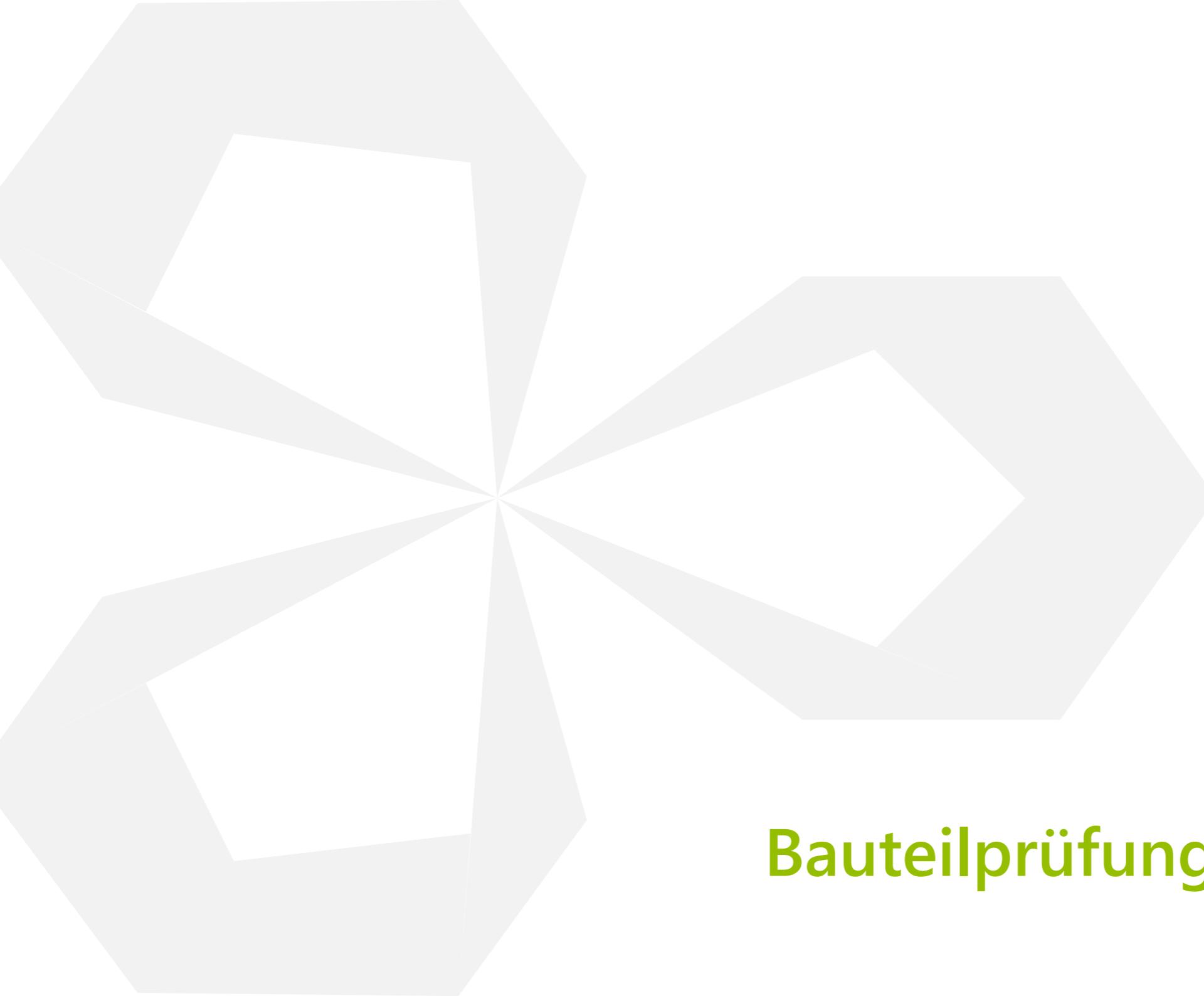
Kerbschlagzähigkeit



Dynamisch-mechanische Analyse - DMA



3-Punkt-Biegung, 50 mm Probe, 1 Hz, 2 K/min



Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>>

Bauteilprüfungen Ladeluftrohr

Bauteilprüfungen Ladeluftrohr



Material und Anforderungen

- PA66-GF
- Medien und Temperaturanforderungen
 - Luft und Blow-By Gase
 - Von -45 °C bis 200 °C
- Druckbeständigkeit bis 3,5 bar bei Betriebstemperatur
- Blasformbarkeit

Abgemusterte Compounds

- PPA-GF20
- PPA-V-GF20
- PPA-GF25

**Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER ➤**



Quelle: Fa. ContiTech

Bauteilprüfungen

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER»



Bauteilprüfungen

- Beschleunigte Wärmealterungen für 168 h bei 220 °C („Heißseite“)
- Prüfungen jeweils im ungealterten und gealtertem Zustand
- Prüflinge jeweils: N = 4
- Pulsationsprüfungen
 - Vereinbarter Zielwert im Projekt: 300.000 Pulsationen
 - Frequenz: 0,5 Hz
 - Durchführung im Ofen bei verschiedenen Temperaturen
 - Prüfmedium: Luft



Quelle: Fa. ContiTech



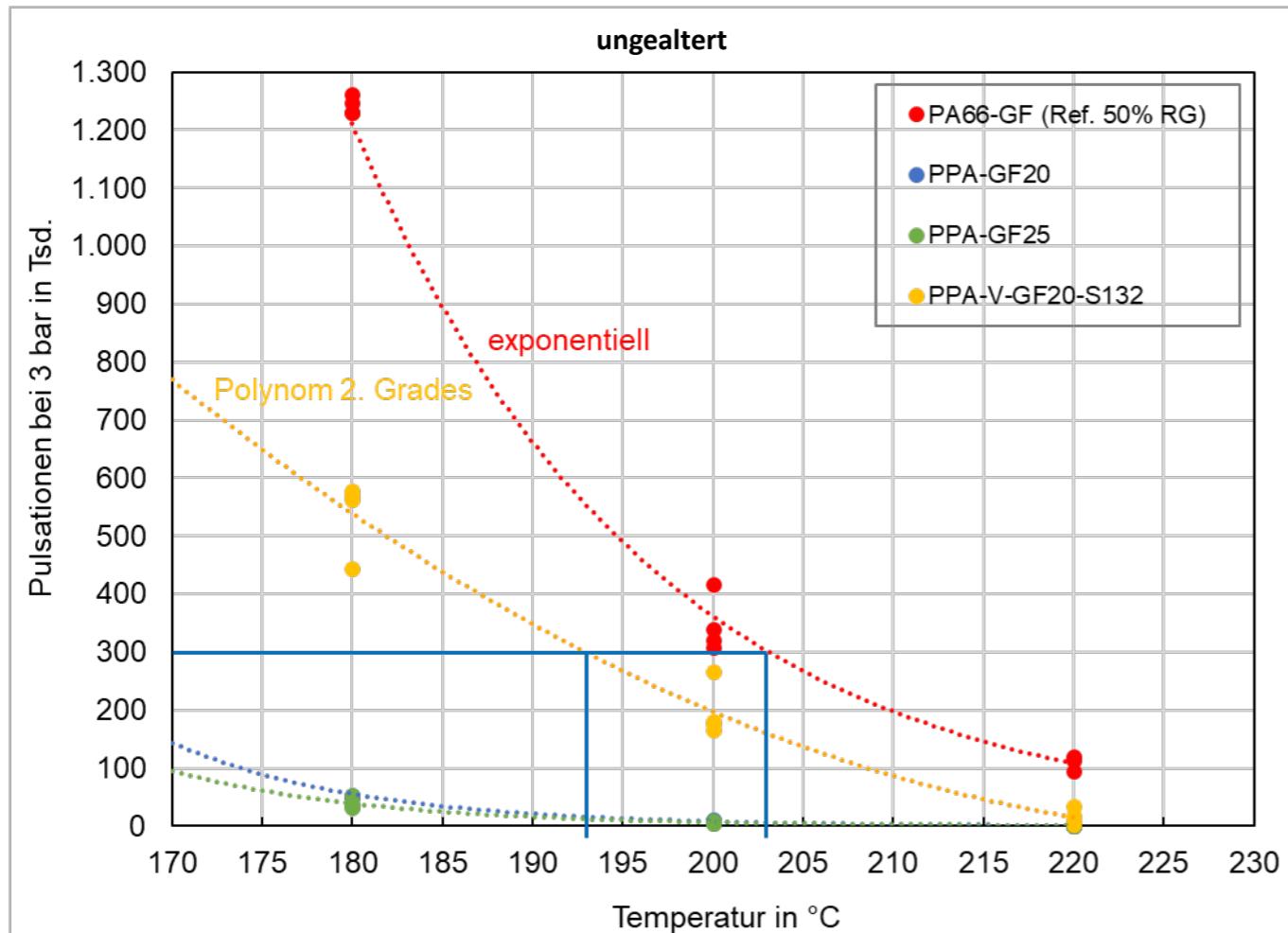
Quelle: Fa. ContiTech

Ergebnisse Pulsationsprüfungen

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER»

BGS
IDEEN **PLUS** ENERGIE

IfBB
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Pulsationsprüfungen

- Prozentuale Änderungen des Mittelwerts (PPA-GF20 → PPA-V-GF20-S132)
 - 220 °C: 1239 %
 - 200 °C: 1941 %
 - 180 °C: 948 %
- Änderung nach Wärmealterung bei 200 °C Prüftemperatur
 - PPA-GF20 → PPA-V-GF20-S132: 13.454 %
 - PPA-GF25 → PPA-V-GF20-S132: 139 %
- Strahlenvernetzung für PPA-Compounds notwendig, um 300.000 Pulsationen im HT-Bereich zu erreichen
 - Deutliche Steigerung der Langzeitperformance
 - Einsatz für Temperaturen bis 180 °C im Dauerbetrieb
 - Theoretisch 300.000 Pulsationen bei ca. 193 °C erreicht

Zusammenfassung und Fazit



- Ausbildung eines dreidimensionalen Netzwerks durch Bestrahlung mit Elektronenstrahlen (mit oder ohne Vernetzungsadditiv)
- Bestrahlung von Kartonagen, Bauteilen, Schüttgütern oder gewickeltem Stranggut möglich
- Verbesserung diverser Eigenschaften von Kunststoffen möglich
 - Z. B. Wärmeformbeständigkeit, Alterungsbeständigkeit, Festigkeitseigenschaften
 - Gezielte Einstellung der Eigenschaften durch Anteil des Vernetzungshilfsmittels und der Bestrahlungsdosis
 - Kunststoffmatrix hat generell Einfluss auf die Effekte der Strahlenvernetzung
 - Glasfaseranteil hat Einfluss auf die Effekte
- Bauteilprüfungen Ladeluftrohr → Deutliche Steigerung der dynamischen Festigkeit bei Druckpulsationen
 - Mit 20 % Glasfaser ungealtert: 948 – 1.941 %
 - Mit 20 % Glasfaser gealtert: 13.454 %
- Kennwerte lassen nicht unbedingt Rückschluss auf finale Einsatzperformance zu → Bauteilspezifische Prüfungen sinnvoll
- Recycling möglich, aber komplexer als bei unvernetzten Thermoplasten

Weitere Informationen zur Strahlenvernetzung unter: <https://bgs.eu/>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Unser nächstes Webinar:

Datum: 18. Dezember 2025, 11 Uhr

**Spargelschalen im Einsatz für Biowerkstoffe -
Neues aus der Forschung**

Kontakt:

Hochschule Hannover

IfBB – Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe

Heisterbergallee 10A

30453 Hannover

Jan Kuckuck, M.Sc.

Tel.: +49 511 9296-7191

E-Mail: jan.kuckuck@hs-hannover.de

www.ifbb-hannover.de



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

