



Hot-BRo2 – Biobasierte Kunststoffe für hohe Einsatztemperaturen: Was können sie technisch und ökologisch leisten?

Jan Kuckuck, 19. Dezember 2024

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



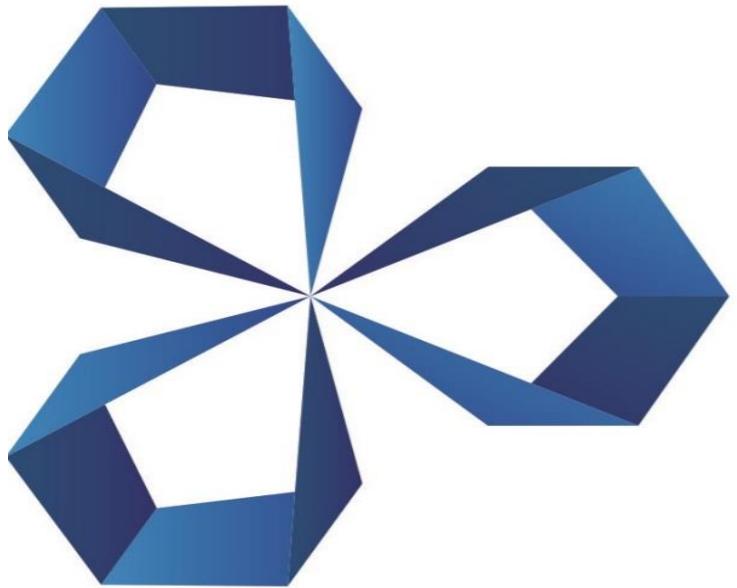
Projektdaten HoT-BRo 2

Projekttitle:	Biokunststoffe für Hochtemperaturanwendungen - Aufwertung der Materialeigenschaften von thermoplastischen Biokunststoffen und Bioverbundwerkstoffen für Hochtemperaturanwendungen
Laufzeit:	01.04.2021 bis 31.07.2024
Förderung	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
Projektträger:	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)
Förderkennzeichen:	2219NR216
Projektleitung IfBB:	Prof. Dr.-Ing. Andrea Siebert-Raths
Projektbearbeitung IfBB:	Jan Kuckuck, Nico Becker



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



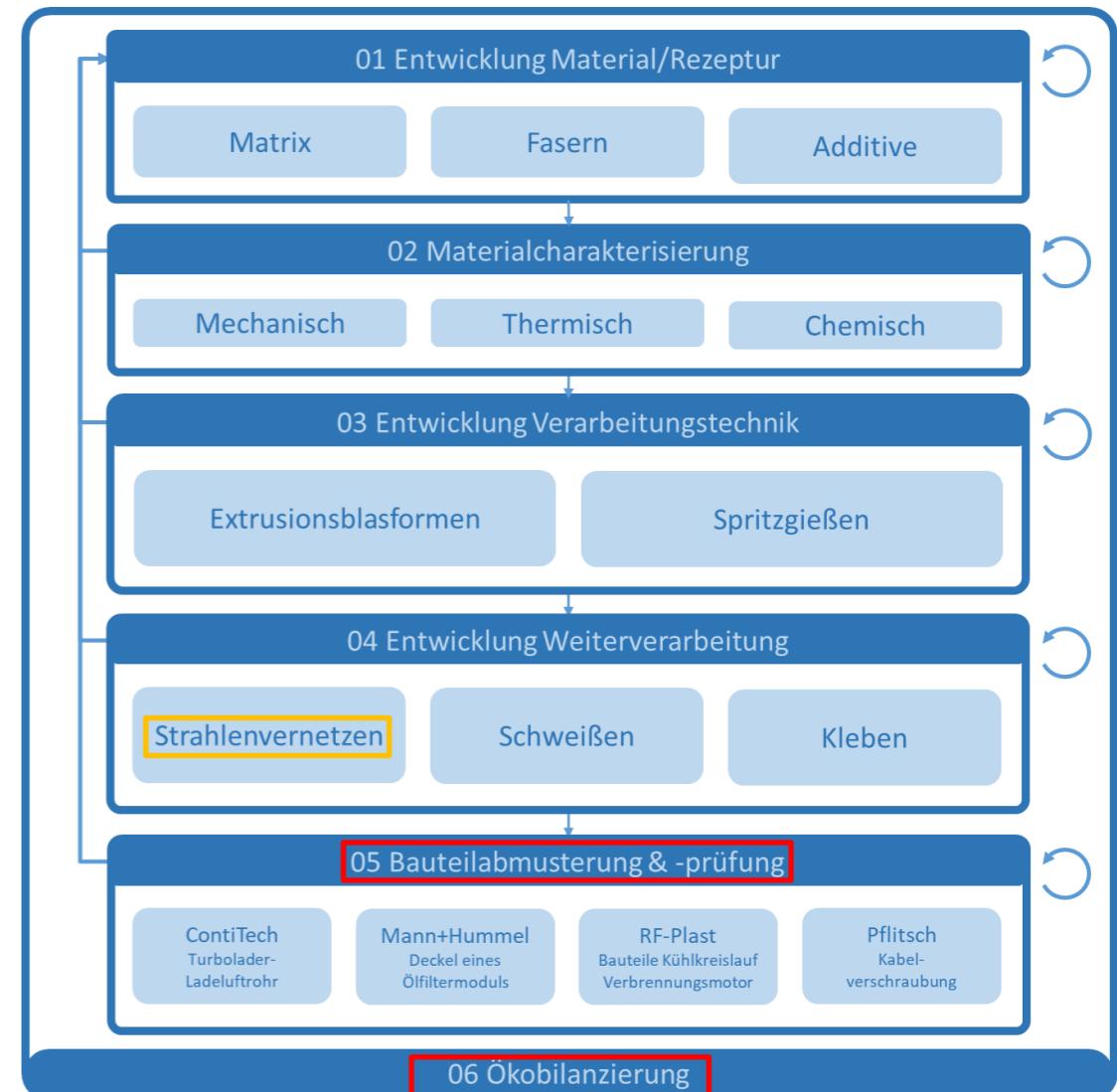


-
- 1. Allgemeine Informationen und Industriepartner**
 - 2. Ergebnisse der Bauteilprüfungen**
 - 3. CO₂-Fußabdruck der Materialien**

Überblick und Ziele

Allgemeine Informationen und Ziele

- Gezielte Materialentwicklungen und -modifizierungen auf Basis von (teil-) biobasierten und rezyklierten Thermoplasten
- Substitution der petrobasierten Materialien von 4 Referenzbauteilen
- Möglichst hoher biobasierter Anteil (> 50%)
- Entwicklung von Verarbeitungsprozessen
 - Spritzgießen, Extrusionsblasformen
- Weiterverarbeitungstechniken/-prozesse
 - Strahlenvernetzung, Schweißen, Kleben
- Abmusterung der Referenzbauteile
- Bewertung der Nachhaltigkeit
- Übertragung der Ergebnisse auf Branchenübergreifende Anwendungen



Bauteilpartner und Referenzbauteile

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>>



Quelle: Fa. ContiTech

**MANN +
HUMMEL**



Quelle: Fa. MANN+HUMMEL

 **PFLITSCH**
Passion for the best solution



Quelle: Fa. Pflitsch

RF PLAST



Quelle: Fa. RF-Plast

Anforderungsprofile der Referenzbauteile

Bauteil	Material	Medium und Temperaturanforderungen	Materialanforderungen
Ladeluftrohr (Heißseite)	PA66-GF	Luft und Blow-By Gase: Von -45 °C bis 200 °C	Druckbeständigkeit bis 3,5 bar bei Betriebstemperatur. Blasformbarkeit.
Ladeluftrohr (Kaltseite)	PA6-GF	Luft und Blow-By Gase: Von -45 °C bis 170 °C	S. Heißseite
Deckel Ölfiltermodul für Nutzfahrzeuge	PA66-GF	Motoröl: 130 °C Luft: Von -45 °C bis 150 °C	Hohe statische und dynamische Festigkeit. Sehr hohe Lebensdauer
Kabelverschraubung	PVDF PA-GF	Luft: Von -40 °C bis 150 °C Luft: Von -20 °C bis 120 °C	Hohe Warm- und Kaltschlagzähigkeit. Flammschutz. Temperaturziel: 200 °C
Komponenten Kühlkreislauf Verbrennungsmotor (Schieber und Zahnsegment)	PPS-GF, PPS+PTFE-GF	Wasser-Glykol Kühlmittel: Von -45 °C bis 135 °C	Sehr geringe Wasseraufnahme und hohe Dimensionsstabilität. Sehr hohe Festigkeit

Industriepartner



Polymere

- PPA
- PA11



Polymere

- PA510, PA610
- PA59, PA69
- PA56



Thermostabilisatoren

- 4 Stabilisatoren für verschiedene Temperaturen und Medien



Additive

- Vernetzungshilfsmittel
- Multifunktionsadditiv



Rezyklat

- rPA46



Fasern

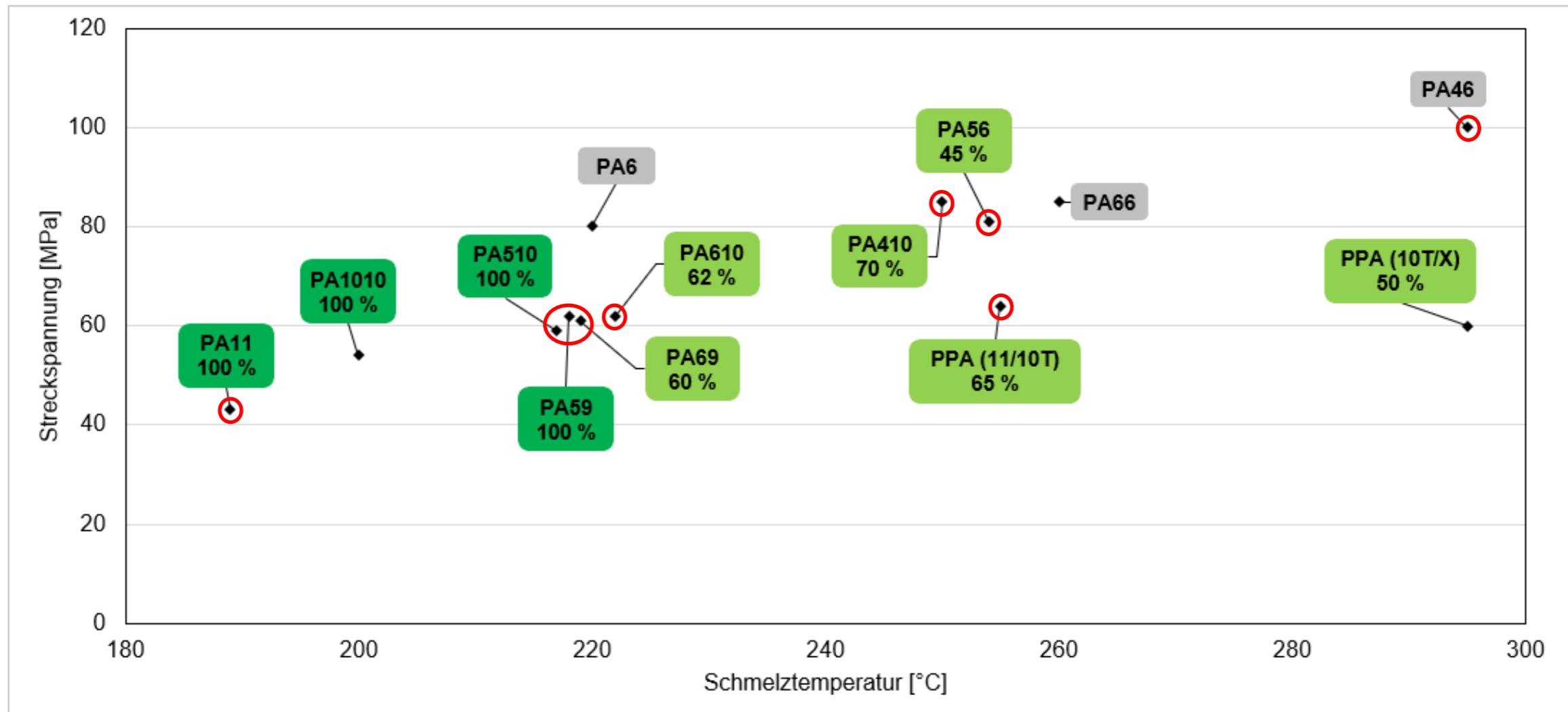
- Glasfasern
- Carbonfasern
- Hanffasern



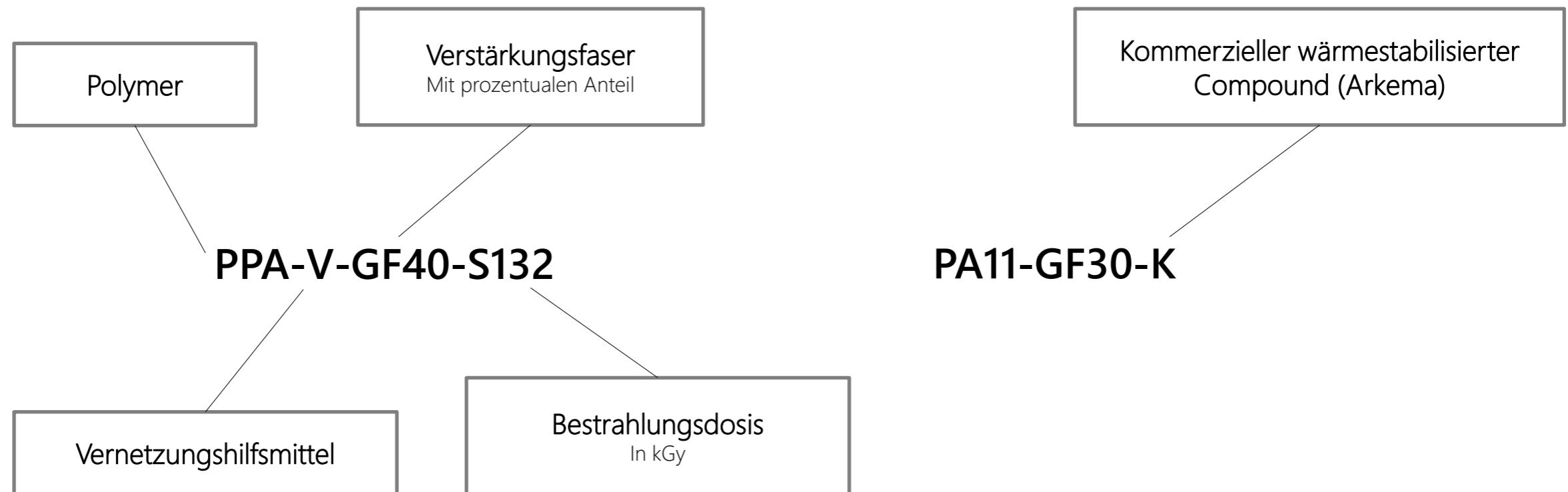
Strahlenvernetzung

- Vernetzung
- Materialprüfungen

Übersicht Bio-PA's



Nomenklatur Compounds





Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER ➤➤➤

Ergebnisse Ladeluftrohr

Materialauswahl Ladeluftrohr „Heißseite“

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>

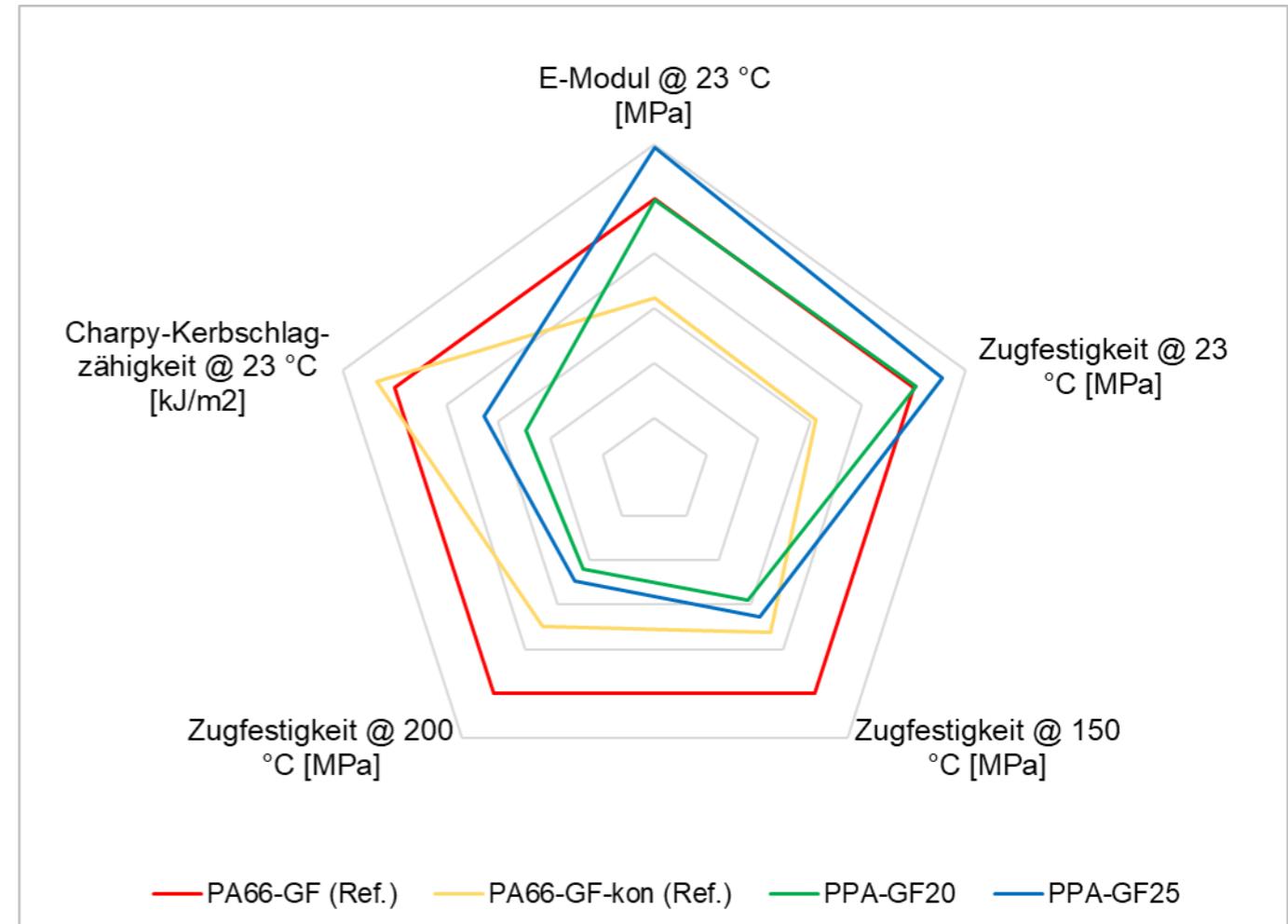
IfBB
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe

Kriterien für die Materialauswahl

- Verfügbarkeiten
- Rheologische Eigenschaften
 - Schmelzflussindex
 - Rheotens Untersuchungen
- Mechanische und thermomechanische Eigenschaften
- Ergebnisse aus den Wärmealterungen
 - Temperatur: 200 °C
- Strahlenvernetzbarer Compound

Ausgewählte Materialien für die Bauteilabmusterung

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



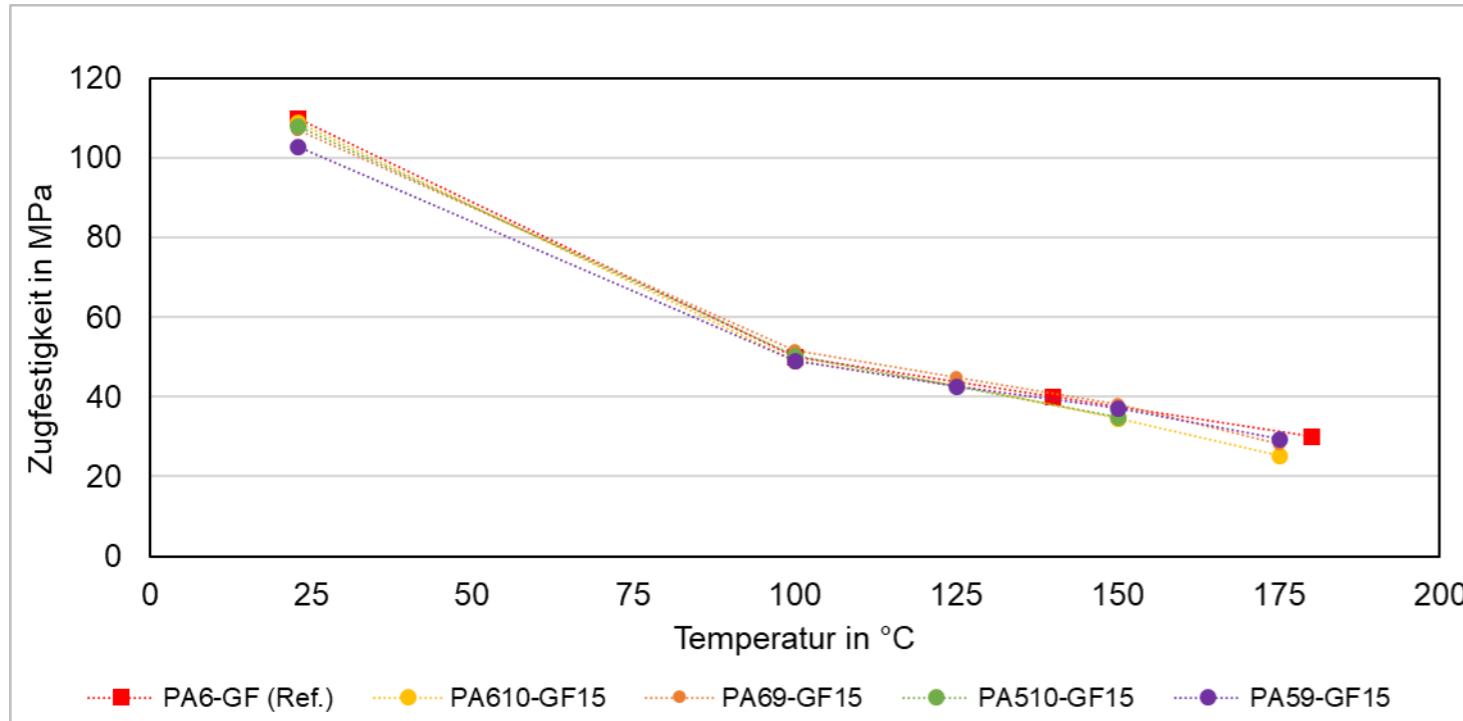
Materialauswahl Ladeluftrohr „Kaltseite“

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>



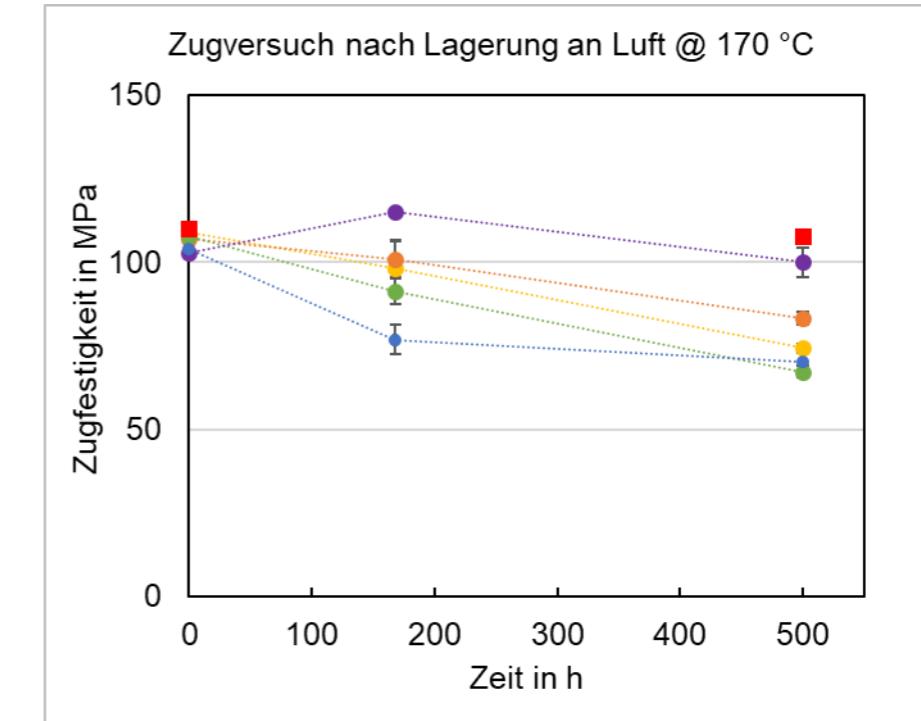
IfBB

Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Kriterien für die Materialauswahl

- 100 % biobasiertes Polyamid
- Keine rechtzeitige Verfügbarkeit des 100 % biobasierten PA59



Ausgewähltes Material für die Bauteilabmusterung

- PA510-GF15
- Notwendigkeit, Viskosität zu erhöhen mit Kettenverlängerer

Abmusterung im Extrusionsblasformen

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>

IfBB
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe

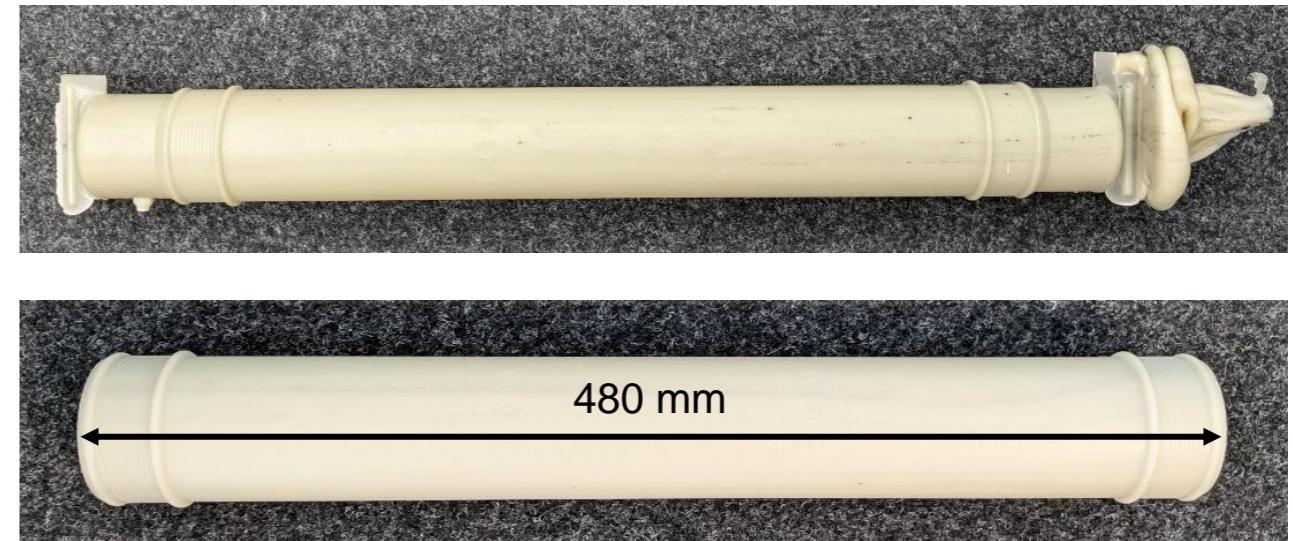
Abmusterung bei der Hagen Engineering GmbH

- 150 kg Materialmuster pro Rezeptur
- 3D-Saugblasverfahren
- Komplexe Rohrgeometrie
- Generierung von Daten für Abmusterung bei ContiTech



Abmusterung bei der ContiTech Original Equipment Solutions

- 150 kg Materialmuster pro Rezeptur
- Einfache Rohrgeometrie, um mögliche Geometrieffekte bei den Prüfungen auszuschließen
- Butzen werden abgetrennt und als „Regrind“ dem Produktionsprozess wieder zugeführt



Bauteilprüfungen

Bauteilprüfungen

- Beschleunigte Wärmealterungen für 168 h
 - „Heißseite“ bei 220 °C
 - „Kaltseite“ bei 190 °C
- 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
- Berstdruckprüfung
 - Ansteigender Druck bis zum Bauteilversagen
 - Prüfmedium: Luft bei Raumtemperatur

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>

IfBB
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Quelle: Fa. ContiTech



Quelle: Fa. ContiTech

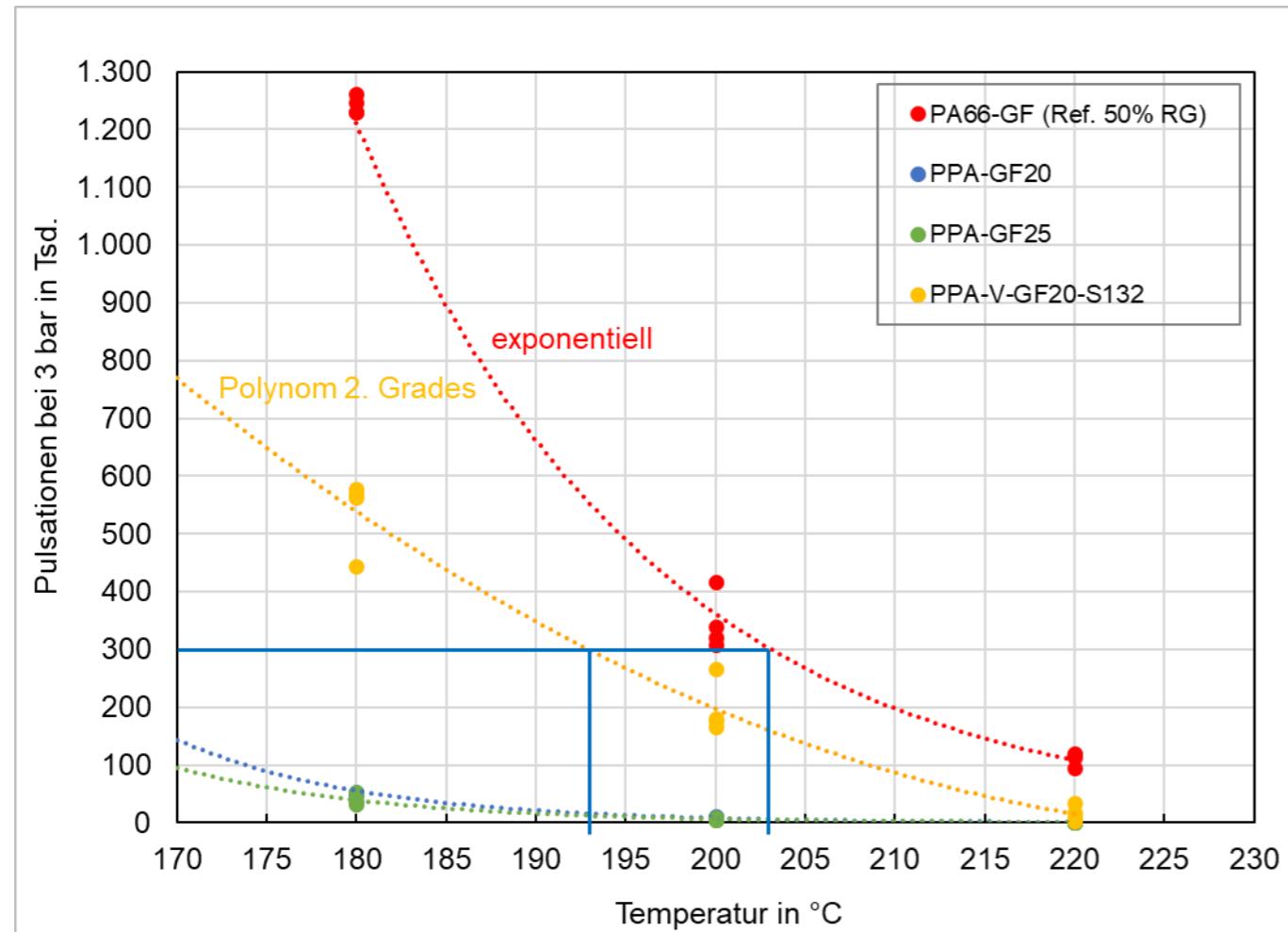
Ergebnisse Pulsationsprüfungen „Heißseite“ ohne Wärmealterung

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>



IfBB

Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Pulsationsprüfungen

- Werte des Referenzmaterials höher
- Strahlenvernetzung für PPA-Compounds notwendig, um 300.000 Pulsationen im HT-Bereich zu erreichen
 - Deutliche Steigerung der Langzeitperformance
 - Vernetztes Material könnte für Temperaturen bis 180 °C im Dauerbetrieb eingesetzt werden
 - Theoretisch werden die 300.000 Pulsationen bei ca. 193 °C erreicht



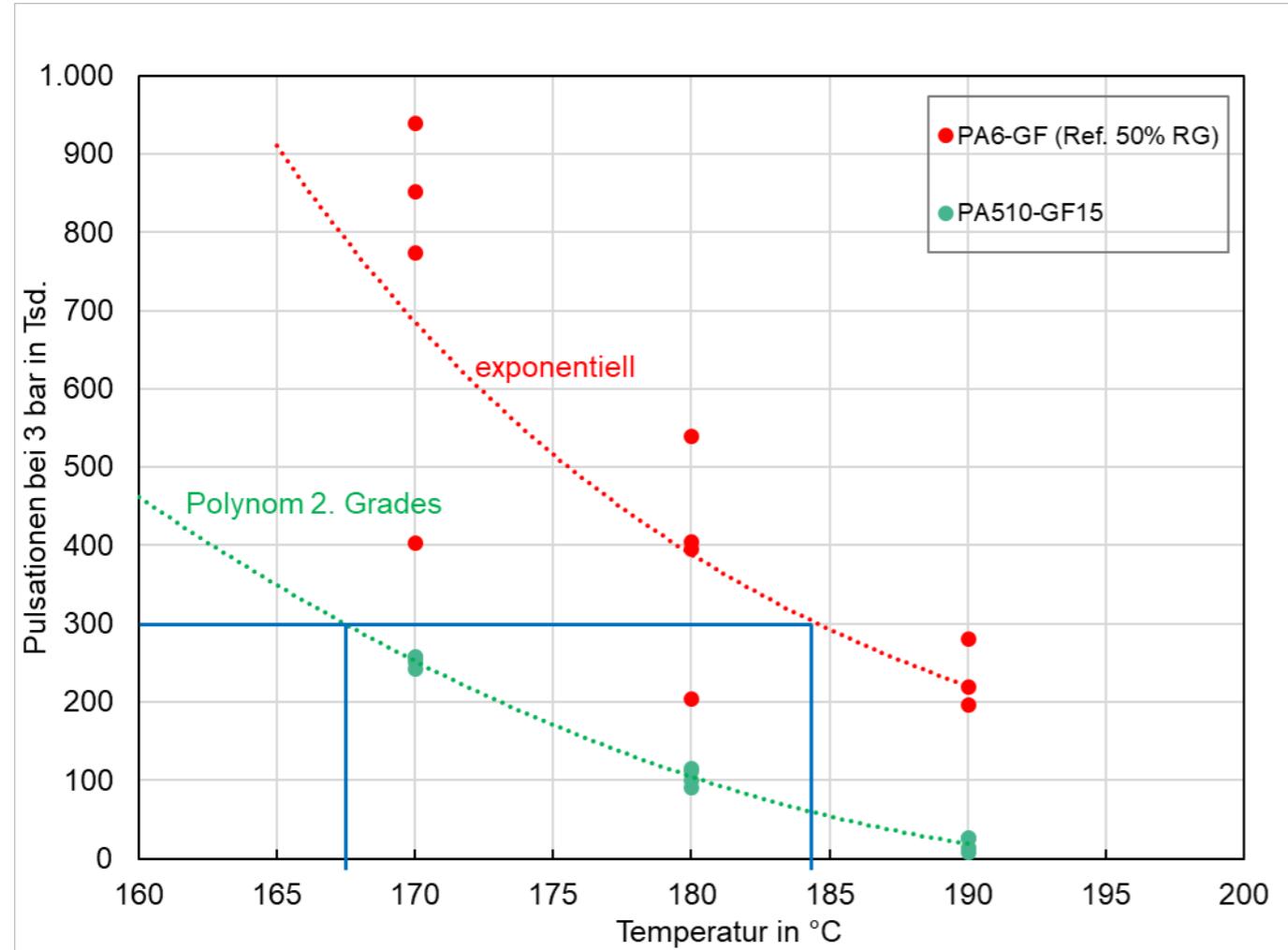
Ergebnisse Pulsationsprüfungen „Kaltseite“ ohne Wärmealterung

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>



IfBB

Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Pulsationsprüfungen

- Werte des Referenzmaterials höher
- Die 300.000 Pulsationen werden bei 170 °C nicht erreicht
 - Theoretisch werden die 300.000 Pulsationen bei ca. 167 °C erreicht
 - Die theoretische Dauereinsatztemperatur wird bei 150 °C veranschlagt
 - Weitere Messwerte für diese Temperatur notwendig
- Geringe Streuung der Messwerte



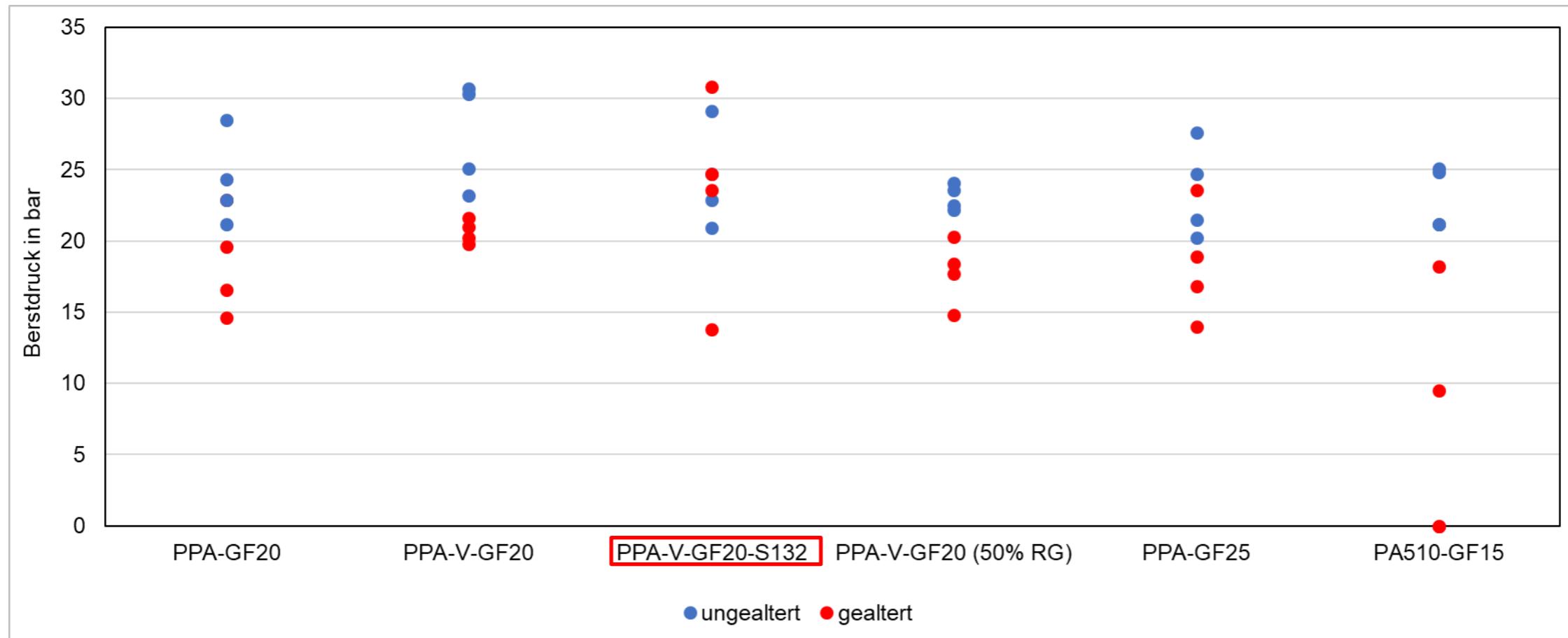
Berstdruckprüfung („Heißseite“ und „Kaltseite“)

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>



IfBB

Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Vereinbarter Zielwert im Projekt: 11 bar

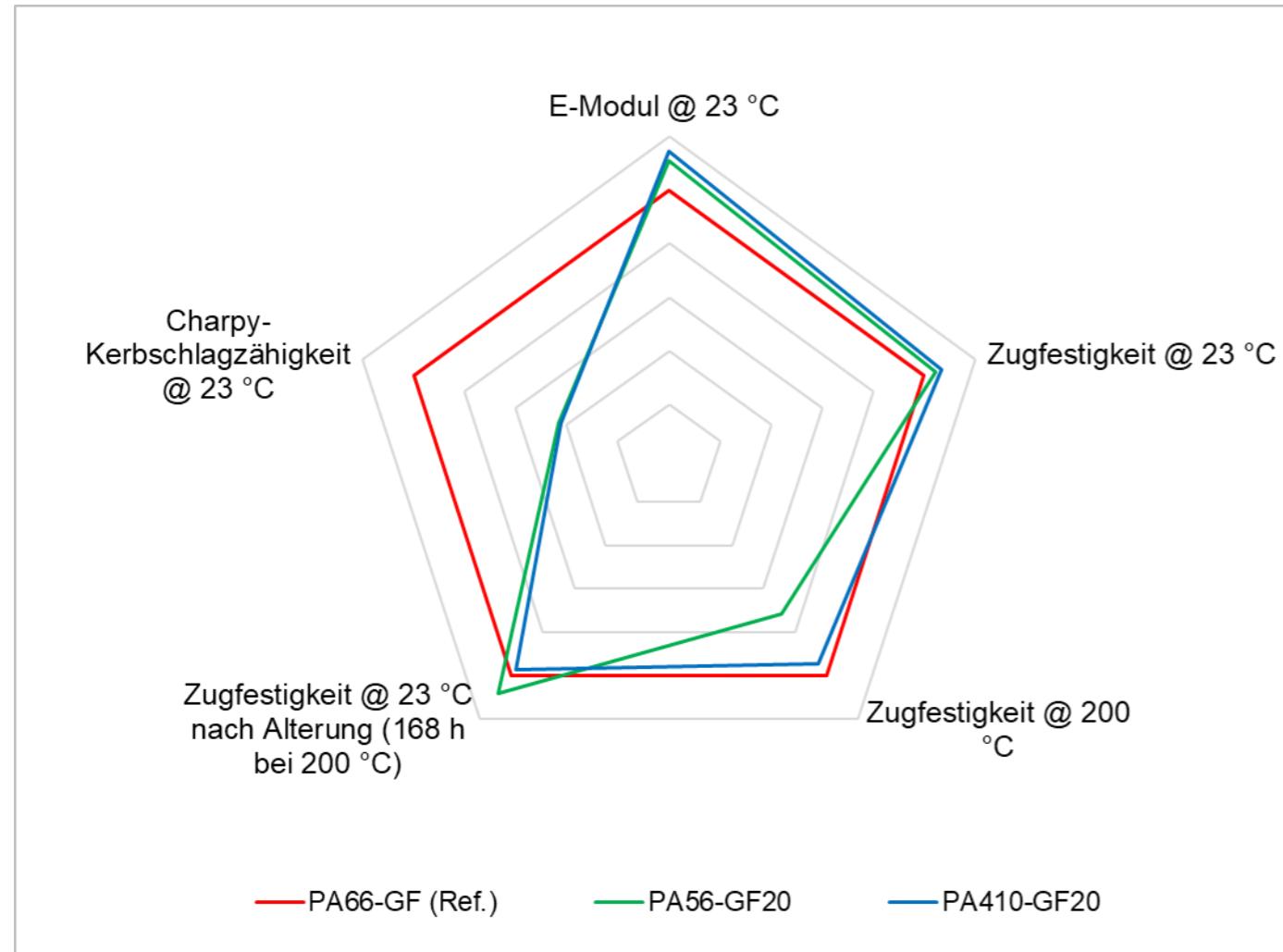
Finale Optimierungsschleife für die „Heißseite“

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>



IfBB

Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe



Alternative aliphatische Compounds

- Erkenntnisse von anderen Bauteilen übertragen
- Vergleichbares Materialverhalten von PA66, PA56 und PA410
- Vergleichbare Zugfestigkeit bei 200 °C vom PA66- und PA410-Compound
- Nach Wärmealterung für 168 h bei 200 °C hat der PA56-Compound die geringsten prozentualen Verluste in der Zugfestigkeit
- Aliphatische Polyamide haben Vorteile bei der HT-Zugfestigkeit und bei dynamischen Beanspruchungen



**MANN +
HUMMEL**

**Ergebnisse Deckel für ein
Ölfiltermodul**

Materialauswahl Deckel für ein Ölfiltermodul

**MANN +
HUMMEL**



IfBB

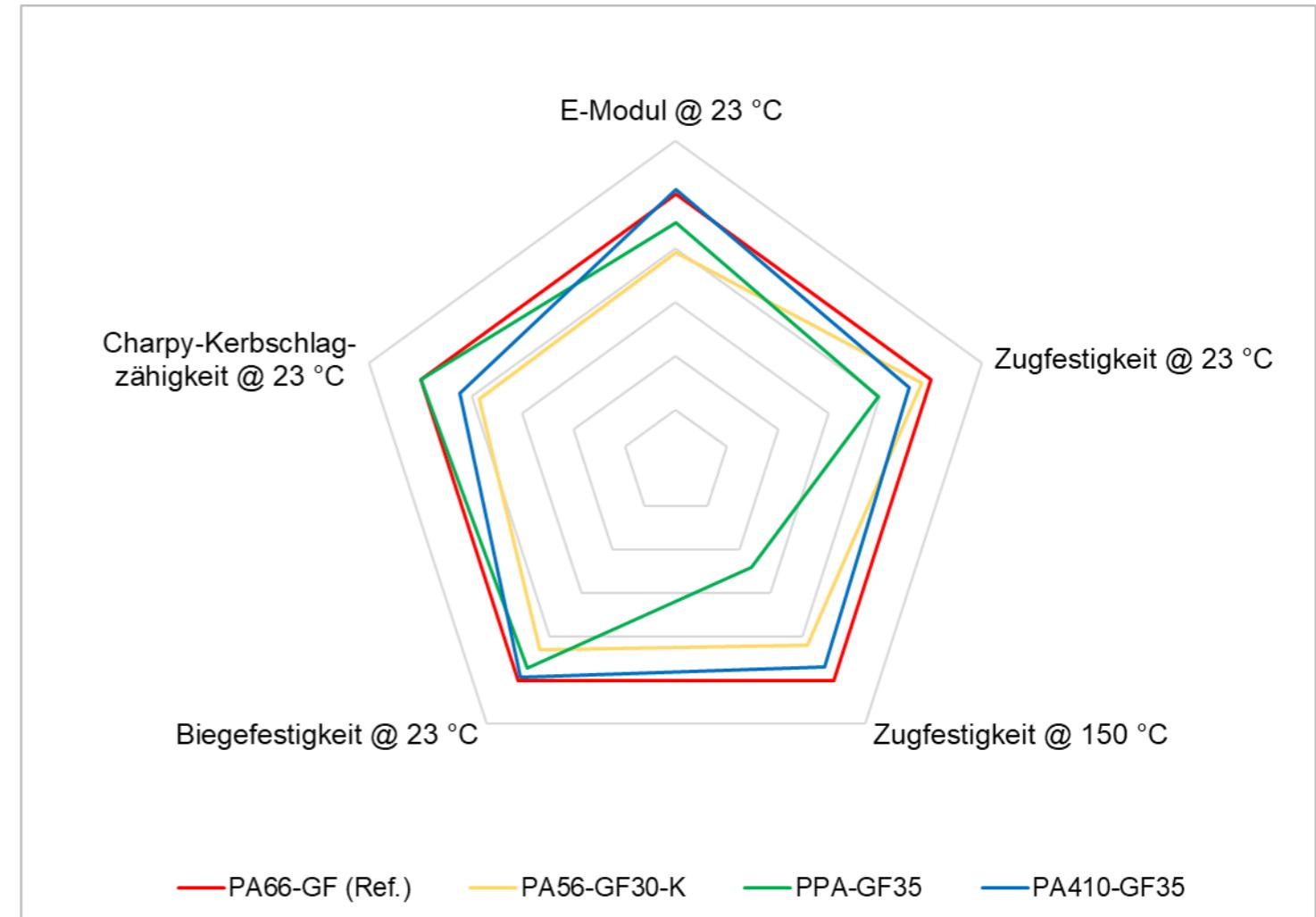
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe

Kriterien für die Materialauswahl

- Mechanische und thermomechanische Eigenschaften
 - Zugfestigkeit bei 150 °C
- Ergebnisse aus dem Dauerschwingversuch bei 150 °C
- Ergebnisse aus den Wärmealterungen
 - „Worst case Öl“
 - Temperatur: 130 °C

Ausgewähltes Material für die Bauteilabmusterung

- PA410-GF35



Bauteilabmusterung

Abmusterung

- Abmusterung mit Deckel für PKW
 - Ursprünglich Deckel für LKW
 - Gleiches Referenzmaterial
 - Änderung wegen Verfügbarkeit Spritzgießwerkzeug



Quelle: Fa. MANN+HUMMEL

Berstdruckprüfung

**MANN +
HUMMEL**

 **IfBB**
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe

PA66-GF (Referenz)



PA56-GF30-K



PA410-GF35



Prüfmedium: Luft bei Raumtemperatur

Pulsationsprüfungen



Quelle: Fa. MANN+HUMMEL

- Prüfmedium: Öl (Castrol 0W-30)
- Prüftemperatur: 150 °C
- Prüfdruck: 0 – 16 bar
- 2 Hz

**MANN +
HUMMEL**

 **IfBB**
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Quelle: Fa. MANN+HUMMEL

Ergebnisse der Pulsationsprüfung



IfBB
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe

Material	Schadensbild	Lastwechsel
PA66-GF	Riss über den Anspritzpunkt	359.610
PA66-GF	Riss über den Anspritzpunkt	324.218
PA410-GF35	Riss über den Anspritzpunkt	626.038
PA410-GF35	Riss über den Anspritzpunkt	609.372

Prüfergebnisse PA410-GF35

- Deutlich verbesserte Dauerfestigkeit im Vergleich zum Referenzmaterial
 - Nahezu Faktor 2
- Leichte sternförmige Anrisse am Anspritzpunkt nach bereits 300.000 Lastwechseln
 - Keine Auffälligkeiten hinsichtlich Dichtheit und Festigkeit



Ergebnisse Kabelverschraubungen

Materialauswahl

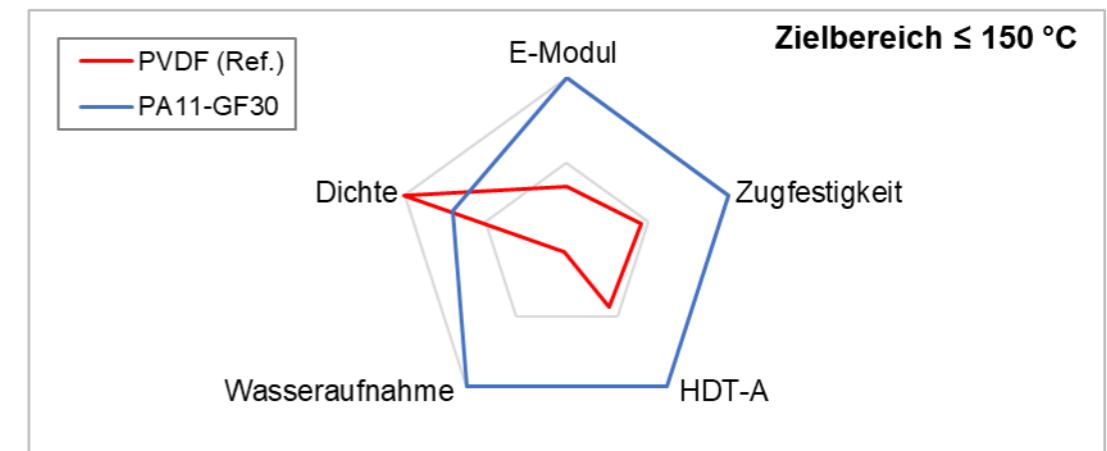
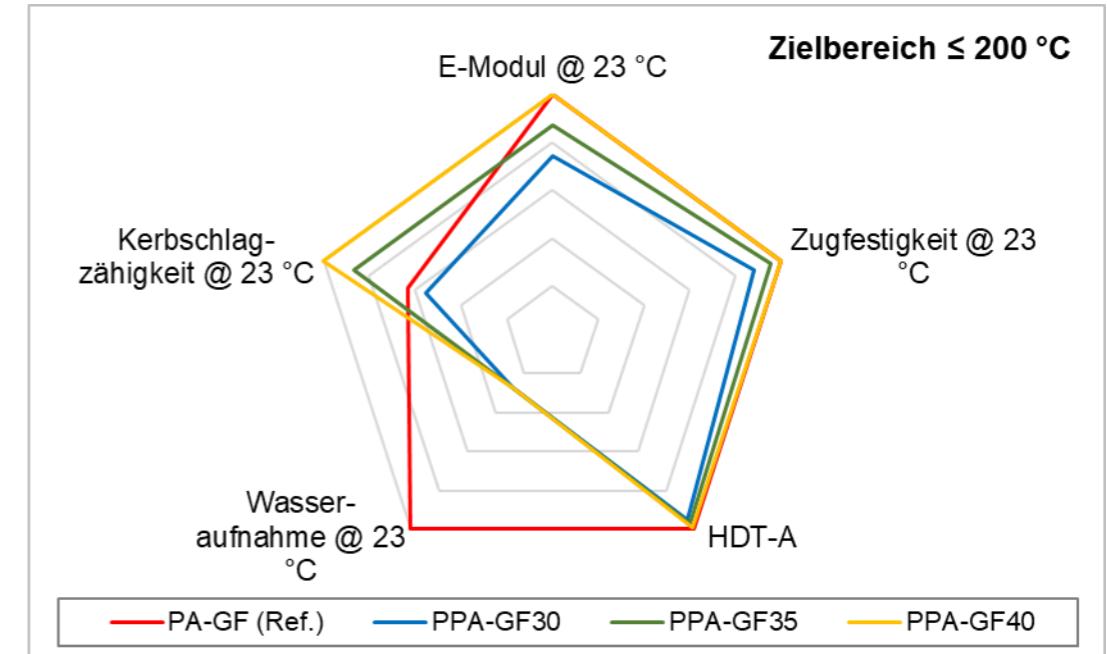
Kabelverschraubungen

Kriterien für die Materialauswahl

- Mechanische und thermomechanische Eigenschaften
- Wasseraufnahme
 - Keine Notwendigkeit zur Konditionierung
- Verfügbarkeiten
 - Kommerzielle Compounds von Arkema waren zu einem frühen Zeitraum im Projekt verfügbar
 - Generierung von ersten Erkenntnissen für die weitere Materialentwicklung
- Strahlenvernetzbarer Compound

Ausgewählte Materialien für die erste Bauteilabmusterung

- PA11-GF30-K (Rilsan® BZM 30 O TL)
- PPA-GF30-K (Rilsan® HT CZM 30 Black TLD)



Abmusterung und Ergebnisse der Drehmomentprüfung



Informationen

- Baugröße: M25
- Herstellung im Spritzgießen



Quelle: Fa. Pflitsch

Drehmomentprüfung

- Ermittlung des Bruchdrehmoments
 - Ungealtert
 - Gealtert bei 155 °C für 168 h

Material	Alterungszustand	Bruchdrehmoment in % bezüglich der ungealterten Referenz
PVDF (Ref.)	ungealtert	100,0
PVDF (Ref.)	gealtert	94,1
PA11-GF30-K	ungealtert	82,3
PA11-GF30-K	gealtert	76,5
PPA-GF30-K	ungealtert	91,8
PPA-GF30-K	gealtert	89,4

Ergebnisse der Schlagprüfung



Schlagprüfung

- Prüfung ohne Wärmealterung
- Durchführung im Kalt- und Warmschlag

Material	Prüftemperatur in °C	Schlagenergie in J	Ergebnis
PVDF (Referenz)	-45	4	Bestanden
PVDF (Referenz)	70	4	Bestanden
PA11-GF30-K	-45	4	Bestanden
PA11-GF30-K	70	4	Bestanden
PPA-GF30-K	-45	4	Nicht bestanden
PPA-GF30-K	70	4	Bestanden

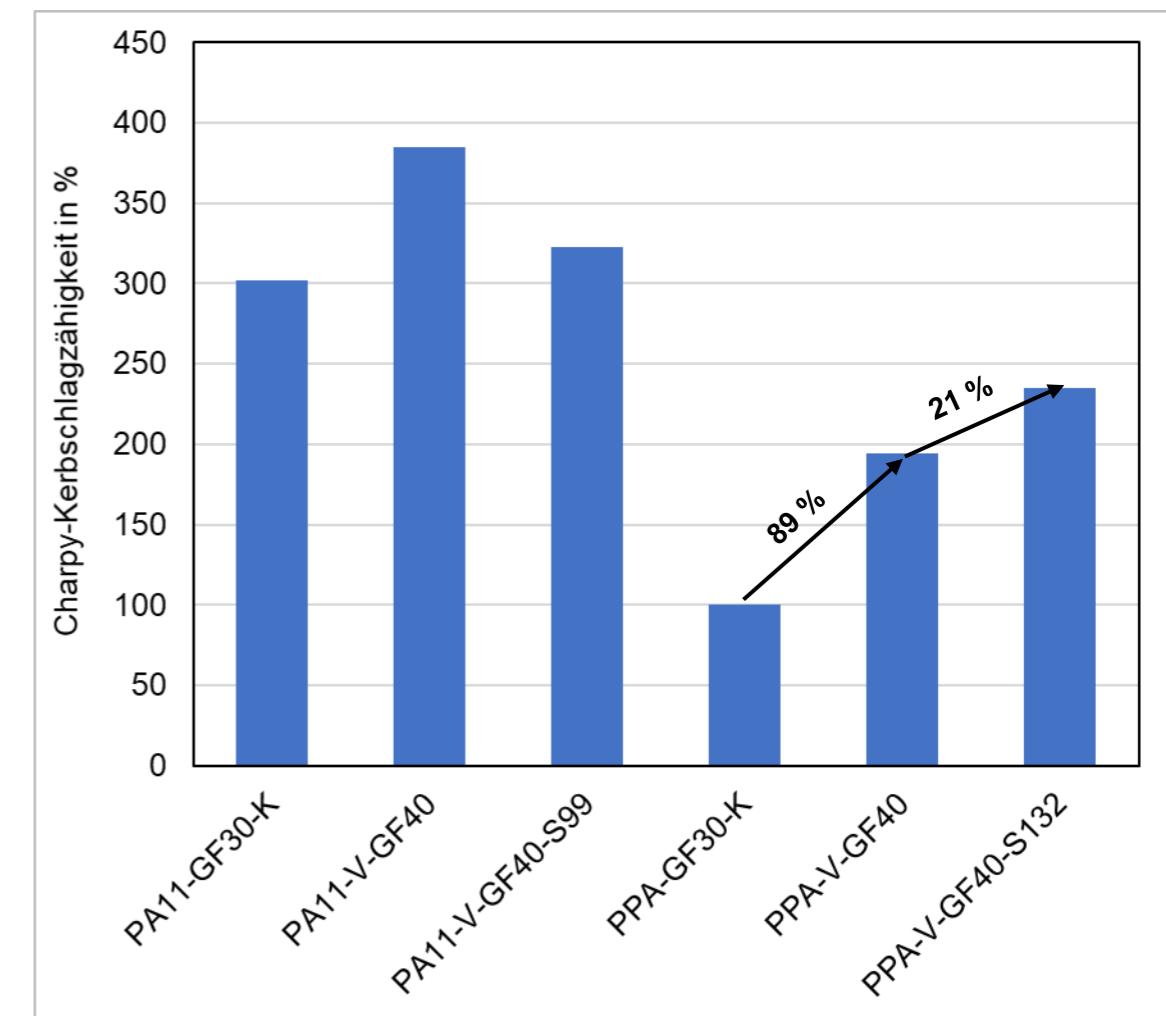
Finale Optimierungsschleife (zweite Bauteilabmusterung)

Zweite Bauteilabmusterung

- Primäre Ziele
 - Erhöhung der Kerbschlagzähigkeit der PPA-Compounds
 - Untersuchung der Effekte der Strahlenvernetzung bei den Bauteilprüfungen
- Abgemusterte Compounds
 - PA11-V-GF40
 - PPA-V-GF40
- Bauteilprüfungen konnten aufgrund von zu großen Toleranzabweichungen nicht durchgeführt werden



Quelle: Fa. Pflitsch





Bisherige Ergebnisse Zahnsegment
und Schieber

Materialauswahl



Kriterien für die Materialauswahl

- Mechanische und thermomechanische Festigkeitseigenschaften
- Geringe Wasseraufnahme
 - Festigkeit nach Wasseraufnahme
- Hydrolysebeständigkeit
 - Ergebnisse aus den Wärmealterungen
- Oberflächen- und Reibungseigenschaften
 - Glasfaseranteil
- Schweißbarkeit und Dichtigkeit

Potenzielle Materialien für die Bauteilabmusterung

- Abmusterungen konnten noch nicht umgesetzt werden, da Werkzeug im wirtschaftlichen Dauerbetrieb
- Spritzgießvorversuche mit fünf potenziellen Materialien
 - Zugstäbe Typ 1A mit 2 mm Dicke
 - Bessere Kenntnis der Materialien für Abmusterung
- PA11-V-GF40
- PA11-GF50
- PA11-GF50-K
- PPA-V-GF40
- PPA-GF50

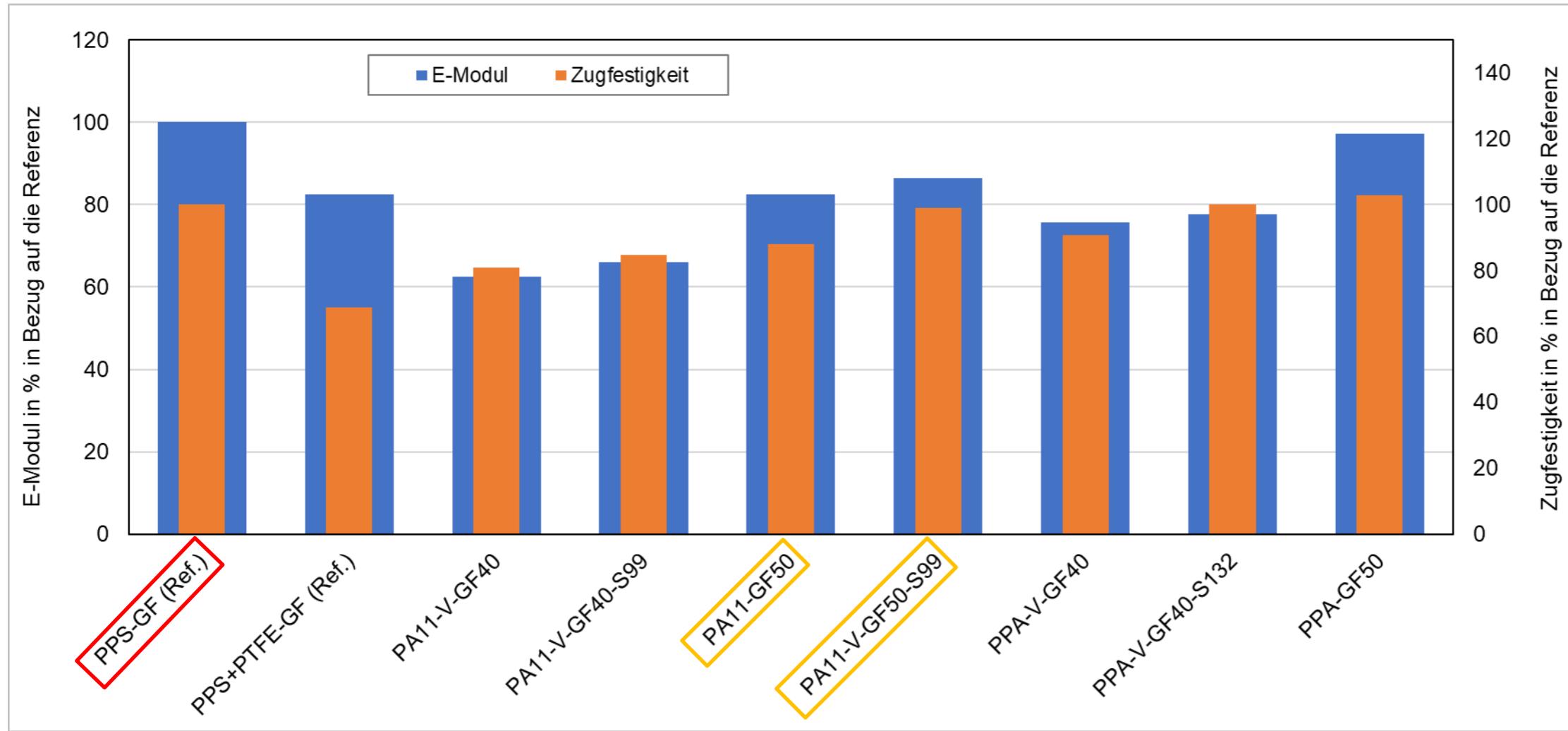
Materialauswahl

RFPPLAST



IfBB

Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



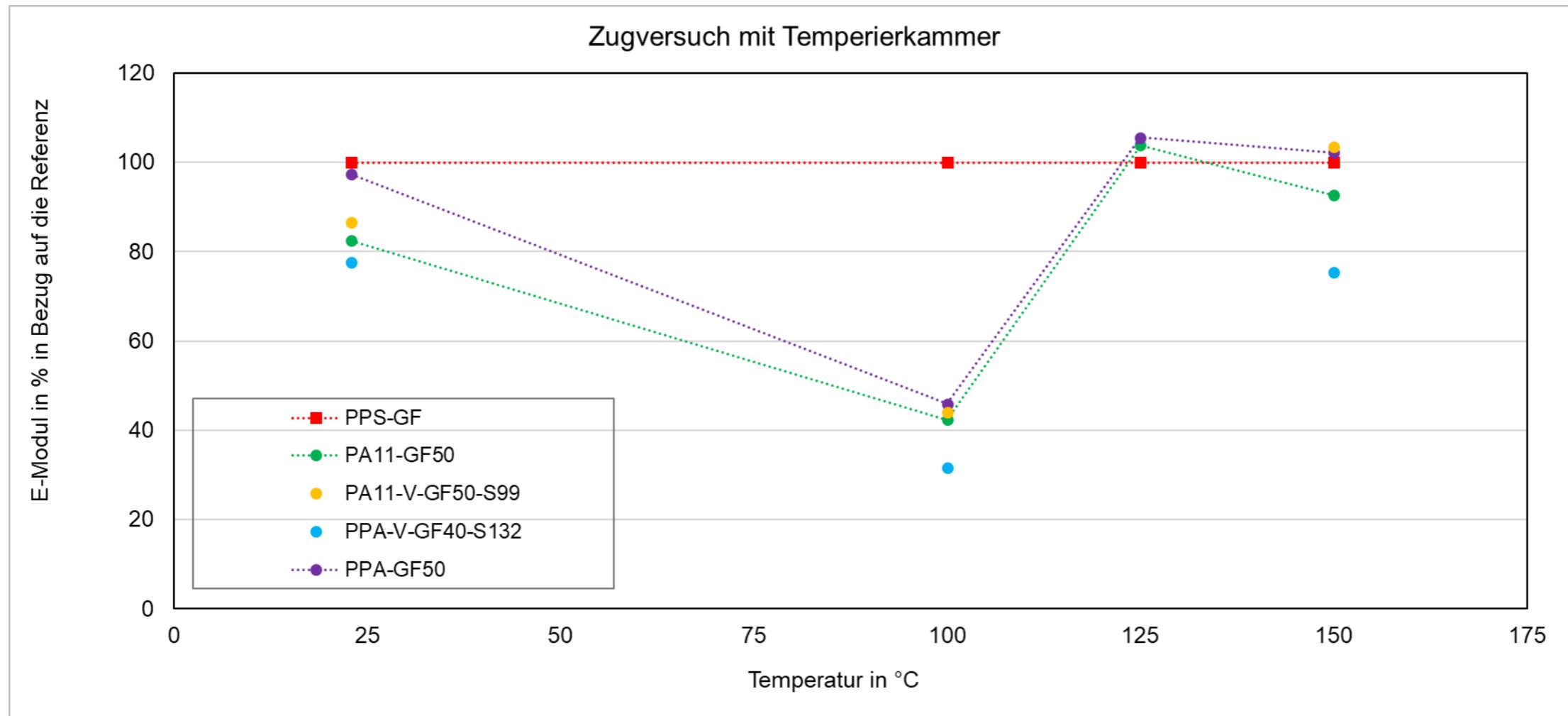
Materialauswahl

RFPPLAST



IfBB

Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Schweißbarkeit / Strahlenvernetzung

- Materialien können vor und nach der Strahlenvernetzung verschweißt werden
- Schweißen vor Vernetzung
 - Vernetzung in der Schweißnaht → Erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit
 - Schweißparameter aus Vorversuchen können übernommen werden
 - Logistik → Direkte Auslieferung an Kunden nach der Vernetzung
- Schweißen nach Vernetzung
 - Geringere oder keine Ausbildung eines „Wulstes“ nach dem Schweißen
 - Veränderte Schweißparameter

Mögliche Materialpaarungen (Zahnsegment + Schieber)

- PPA-V-GF40-S132 + PPA-GF50
- PPA-V-GF40-S132 + PA11-GF50
- PA11-GF50 + PPA-GF50
- PA11-V-GF40-S99 + PPA-V-GF40-S132





CO₂-Fußabdruck der Materialien

Ökobilanzierung

Allgemeine Erläuterungen

- Reine ökologische Nachhaltigkeitsbetrachtung, keine sozialen/ökonomischen Aspekte berücksichtigt
- Ziel der LCA-Studie:
 - Die Bewertung des Treibhauspotentials für die Herstellung (cradle-to-gate) der Referenzbauteile, inklusive der verwendeten (biobasierten) Materialien und Prozesse
 - Die Analyse von Beiträgen einzelner Prozesse und Ressourcenflüsse zur Identifizierung von Hot-Spots innerhalb der betrachteten Systeme
- Rohstoffquelle für alle eigenständig modellierten biobasierten PA's ist Rizinusöl
- Gewählte Systemgrenzen/Betrachtungsrahmen: cradle-to-gate (Wiege bis Werkstor, ohne Nutzungsphase und EoL)
- Funktionelle Einheit: 1 kg Bauteil; Wirkungsabschätzungsmethode: CML 2001 (Stand 2016)
- Technische Eigenschaften wie beispielsweise Gestaltungsmöglichkeiten (Form, Farbe und Größe), Bedruckbarkeit oder Langlebigkeit werden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet
- Bilanzierungsansätze für Kohlenstoffbilanzierung ((1) excl./ (2) incl. biogenic Carbon):
 - (1) 0/0-Ansatz: Absorbiertes und freigesetztes CO₂ aus biogenen Quellen mit einem CF (Charakterisierungsfaktor) von 0. Bio. C wird über gesamten Lebenszyklus als CO₂-neutral betrachtet und am Ende der Lebensphase aus der Bestandsanalyse ausgeschlossen
 - (2) -1/+1 Ansatz: Aufnahme aus der Atmosphäre wird mit einem CF von -1 berücksichtigt, Abgabe an die Atmosphäre mit einem CF von +1

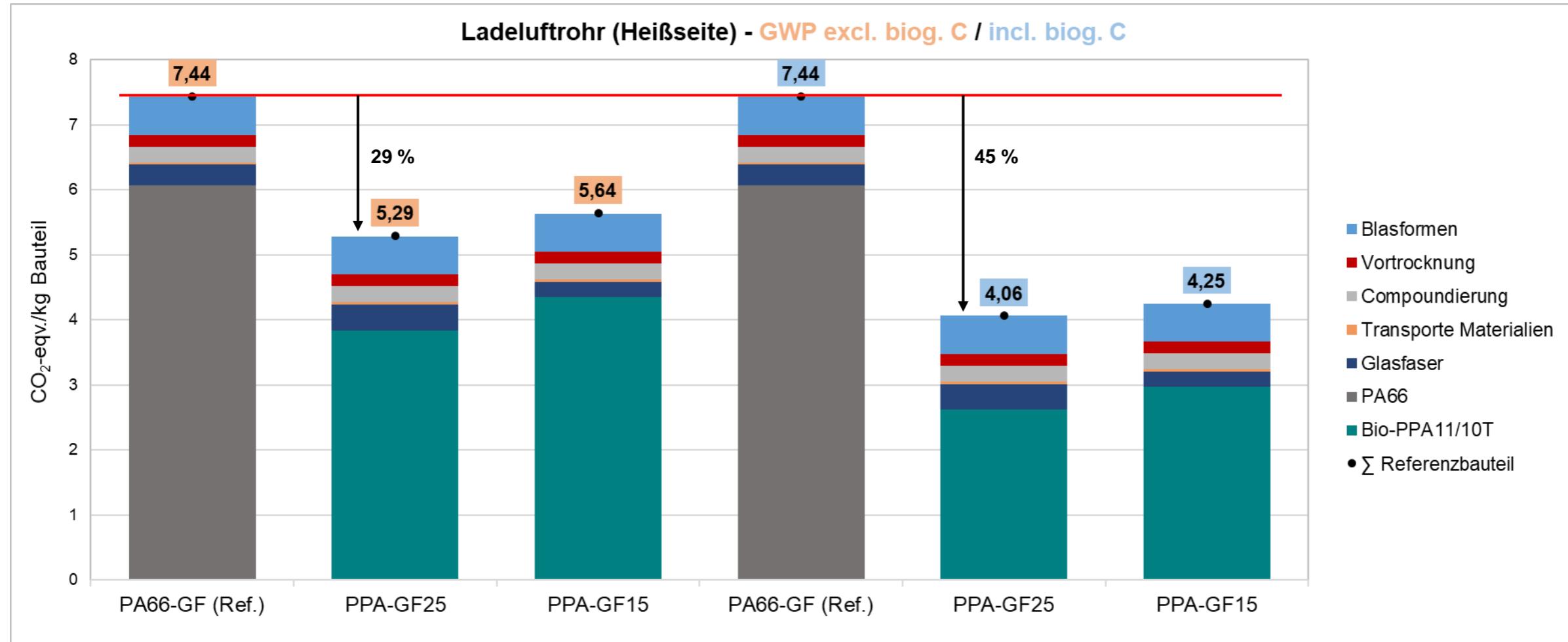
CO₂-Fußabdruck – Ladeluftrohr „Heißseite“

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>



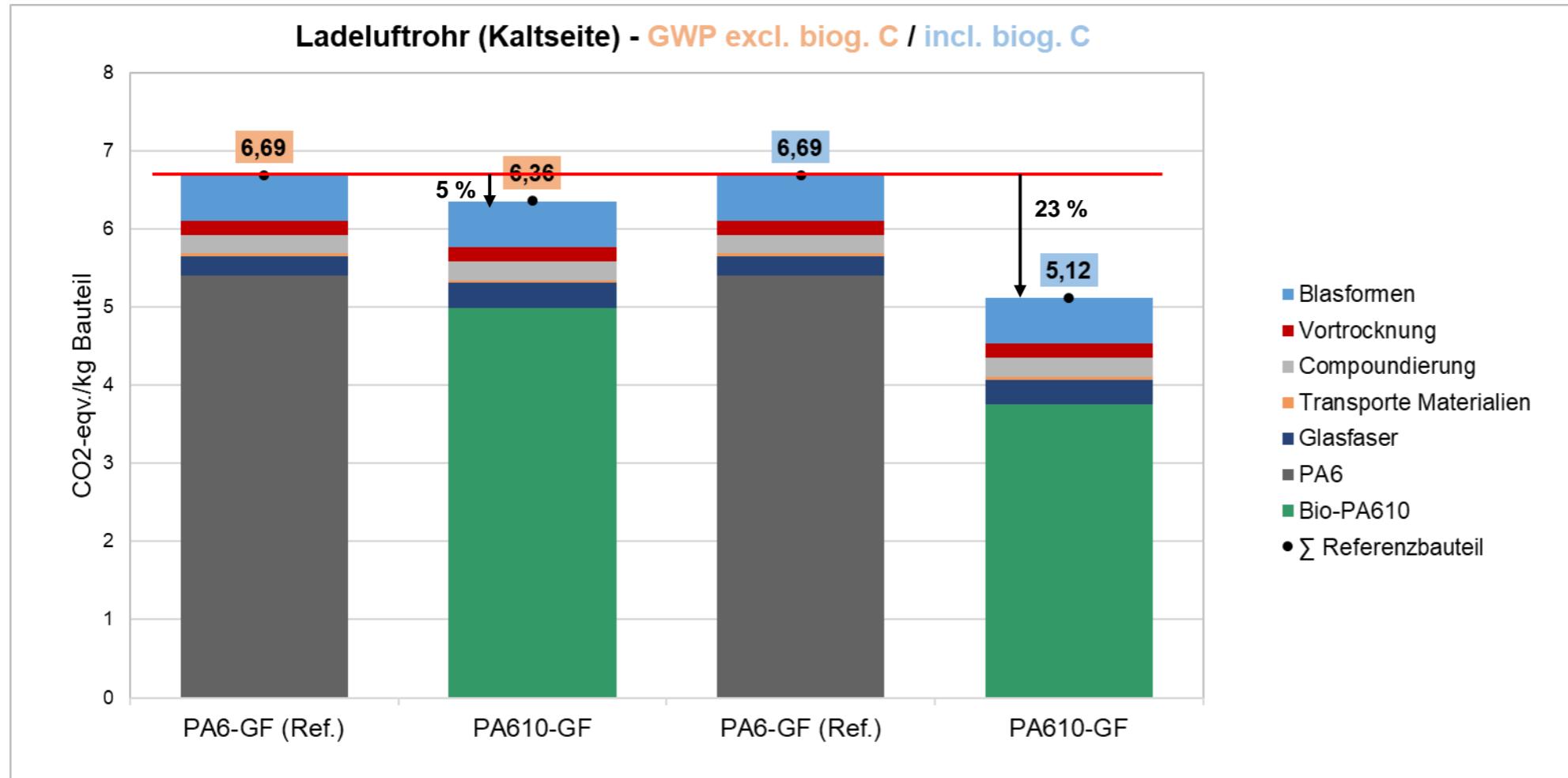
IfBB

Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe



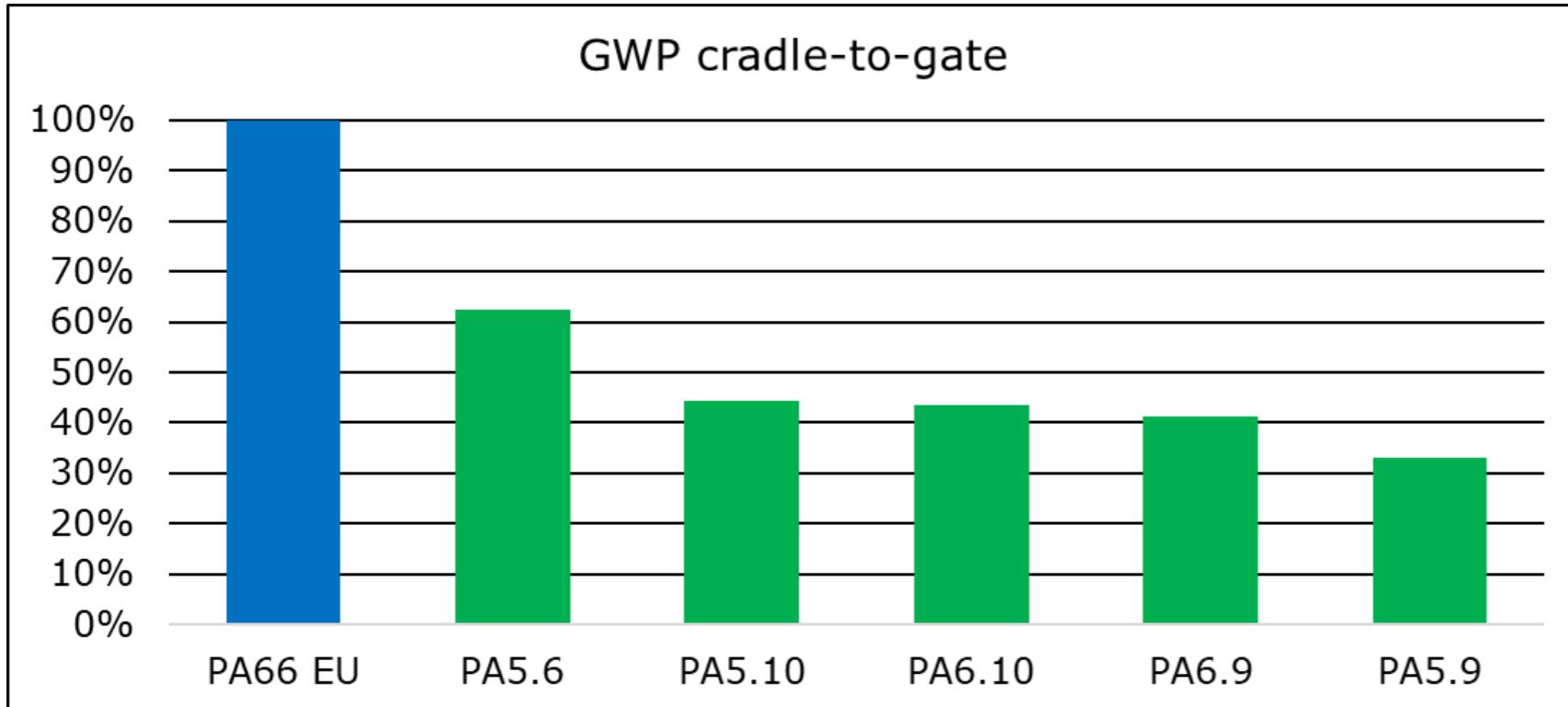
CO₂-Fußabdruck – Ladeluftrohr „Kaltseite“

Original Equipment
SOLUTIONS
FORWARD TOGETHER >>



CO₂-Fußabdruck – Materialien

Radici



Quelle: Fa. Radici

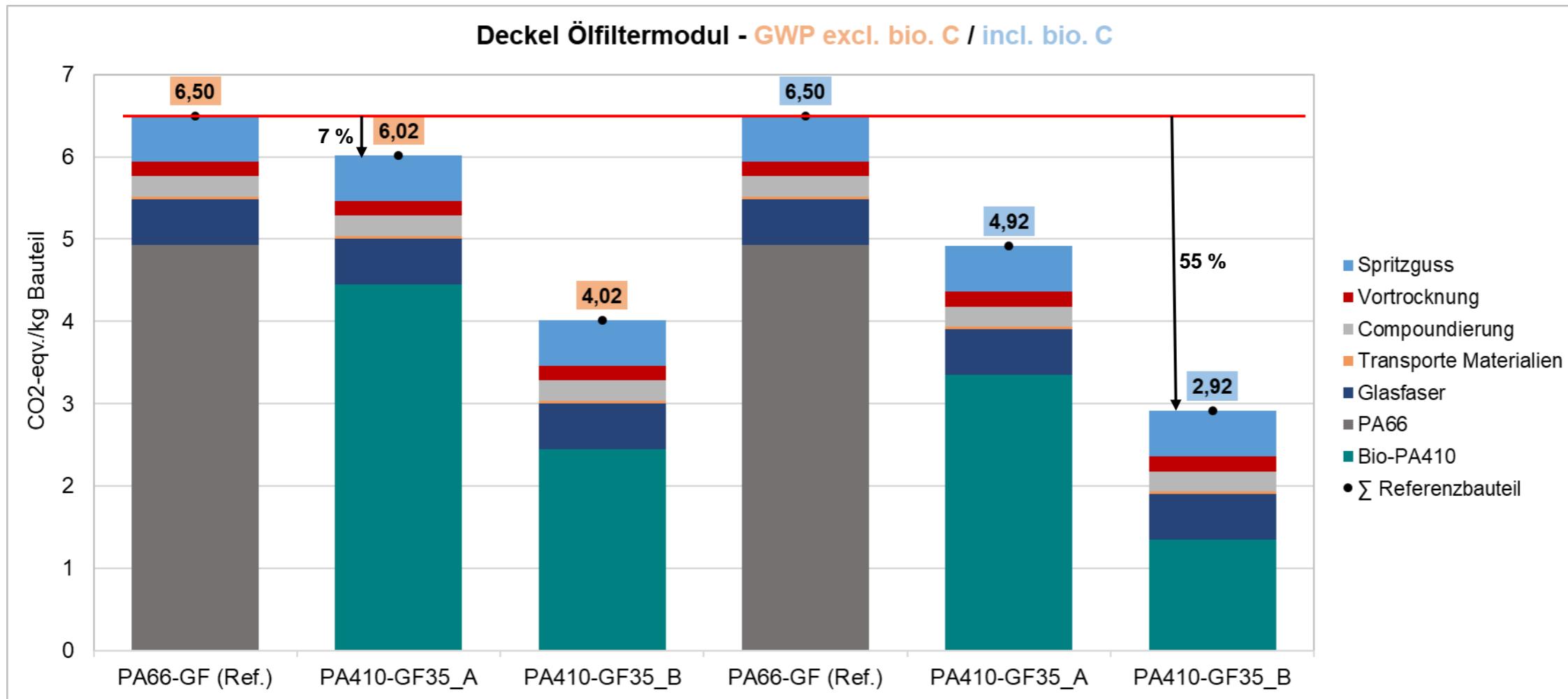
The calculation is performed using SimaPro software v. 9.3.0.3, the database Ecoinvent 3.5 and the method IPCC 2021 (incl. CO₂ uptake). It is a cradle-to-gate study. The study has been critically reviewed by Certiquality in 2022. Production data refer to year 2019.

Value for PA66 EU taken from the database Industry Data 2.0 (Polyamide (Nylon) 6.6/EU 27) assessed with the method IPCC 2021 (incl. CO₂ uptake).

Informationen

- Szenario der Fa. Radici
- Incl. biogenic Carbon

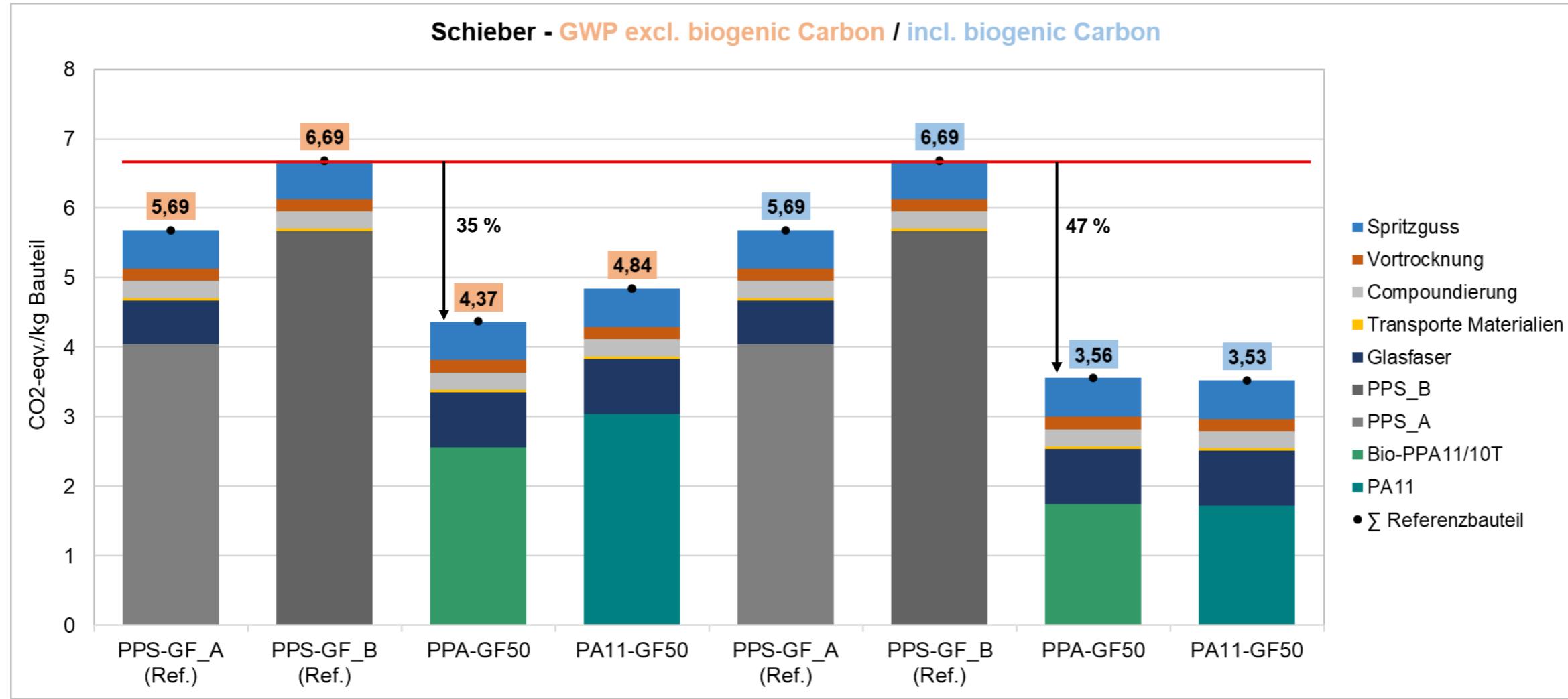
CO₂-Fußabdruck – Deckel Ölfiltermodul



CO₂-Fußabdruck – Schieber

RFPPLAST

IfBB
Institut für Biokunststoffe
und Bioverbundwerkstoffe



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Eine möglichst große Bandbreite an (teil-)biobasierten Polyamiden und Polypythalamiden wurde untersucht
- Wärmealterungen an Luft, in Öl und einem Wasser-Glykol-Gemisch wurden durchgeführt
- Die Fertigungsverfahren Spritzgießen und Extrusionsblasformen konnten erfolgreich umgesetzt werden
- Zahlreiche Erkenntnisse aus den Weiterverarbeitungsverfahren Strahlenvernetzung, Schweißen und kleben wurden generiert
- Die Bauteilabmusterungen wurden erfolgreich umgesetzt
 - Der entwickelte Compound für den Deckel des Ölfiltermoduls übertrifft in den Bauteilprüfungen das Referenzmaterial
 - Die Abmusterung der Bauteile Schieber und Zahnsegment sind aufgrund der Werkzeugverfügbarkeit noch ausstehend
 - Bei der 2. Abmusterung der Kabelverschraubung sind zu große Toleranzabweichungen für die Prüfungen aufgetreten
- Die entwickelten Materialien haben je nach Szenario in der Ökobilanzierung einen um bis zu 55 % besseren CO₂-Fußabdruck

Ausblick

- Die generierten Ergebnisse der Compounds, Additive und (Weiter-)Verarbeitungsverfahren können durch die Industriepartner verwertet werden
- Einige Rezepturen können technisch direkt eingesetzt werden und werden weiterverfolgt
- Die höheren Preise der (teil-)biobasierten Polymere erschweren die Marktdurchdringung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Das IfBB wünscht Ihnen Frohe Weihnachten
und einen guten Rutsch in das neue Jahr!

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



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Nico Becker, M.Eng.
Tel.: +49 511 9296-8280
nico.becker@hs-hannover.de

www.ifbb-hannover.de