



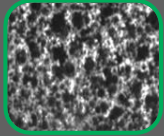
Nachhaltige und kosteneffiziente Ansätze zur Herstellung kompakter und geschäumter PUR-Formbauteile

Florian Kessler, M.Sc.
21.02.2018

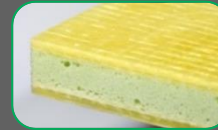
Forschung am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen im Bereich der Polyurethane



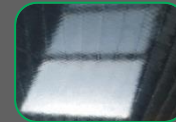
Kompakte und geschäumte Polyurethane



- Einsatz alternativer Treibmittel
- Werkzeugkonzepte für kosteneffiziente Kleinserienfertigung
- Inline-Qualitätssicherung
- Trennmittelreduktion
- Additive Manufacturing



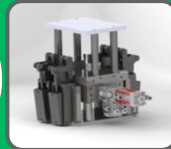
PUR als Matrixmaterial in FVK-Bauteilen



- Fertigung hochbelastbarer Sandwich-Bauteile
- Oberflächenfunktionalisierung
- Schwindungssimulation zur Prozessauslegung
- Optimierung des Pultrusionsprozesses



Anlagen-Technologie



Werkzeug-technik



Material-
charakterisierung



Prozessentwicklung zur Herstellung von endlosfaserverstärkten dreidimensionalen Sandwichbauteilen

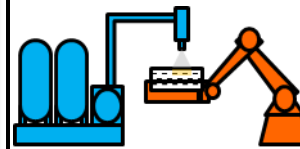
Problemstellung:

- Unwirtschaftliche Herstellung von 3D-FVK-Sandwichbauteilen durch aufwändige Vorkonfektionierung des Kernmaterials
- Imprägnierung der trockenen Decklagenpreforms erfordert bei kurzen Zykluszeiten hohe Werkzeuginnendrücke
- Ein parallel zur Decklagenimprägnierung ablaufendes Ausschäumen des Kernmaterials ist bei hohen Werkzeuginnendrücken nicht möglich



Lösungsweg:

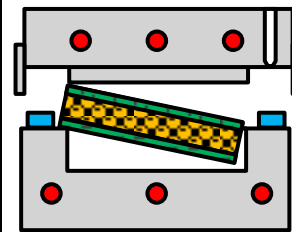
Vorimprägnierung der Decklagenpreforms im RSP-Prozess



- Vakuumunterstützte Vorimprägnierung der Trockenfaserpreforms mit perforiertem Imprägnierwerkzeug.



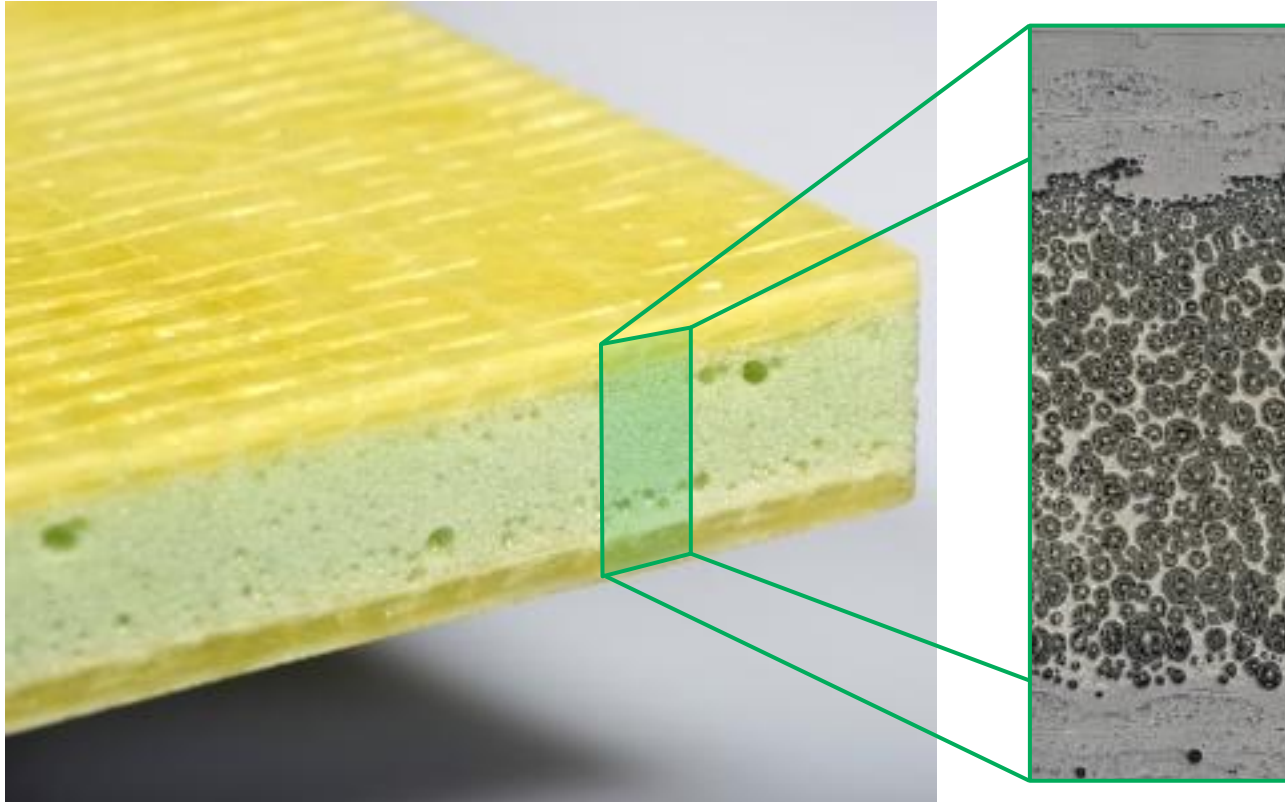
Nasspressprozess mit integriertem Ausschäumen des Kernmaterials



- Der zur Komprimierung und Homogenisierung der vorimprägnierten Preforms benötigte Werkzeuginnendruck wird durch den integrierten Schäumprozess erzeugt.

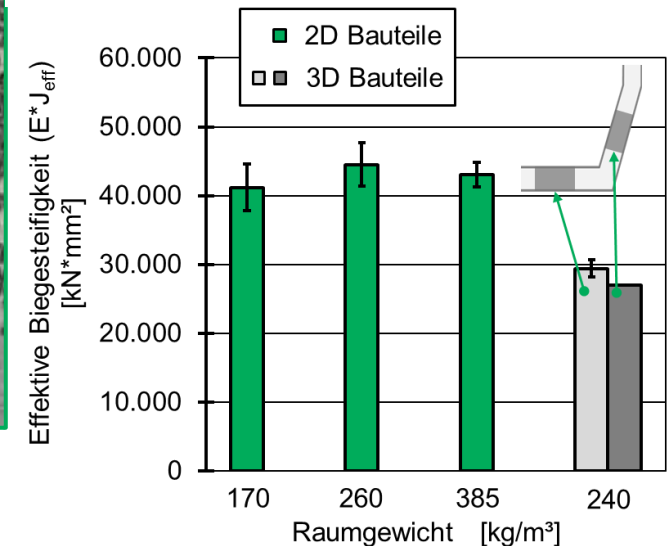


Im einstufigen Prozess hergestelltes PUR-Sandwich-Bauteil mit endlosfaserverstärkten Decklagen und PUR-Schaumkern

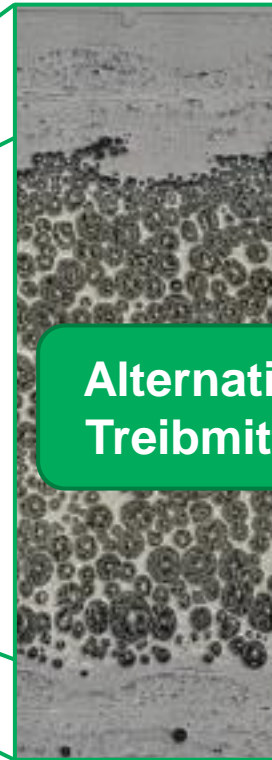
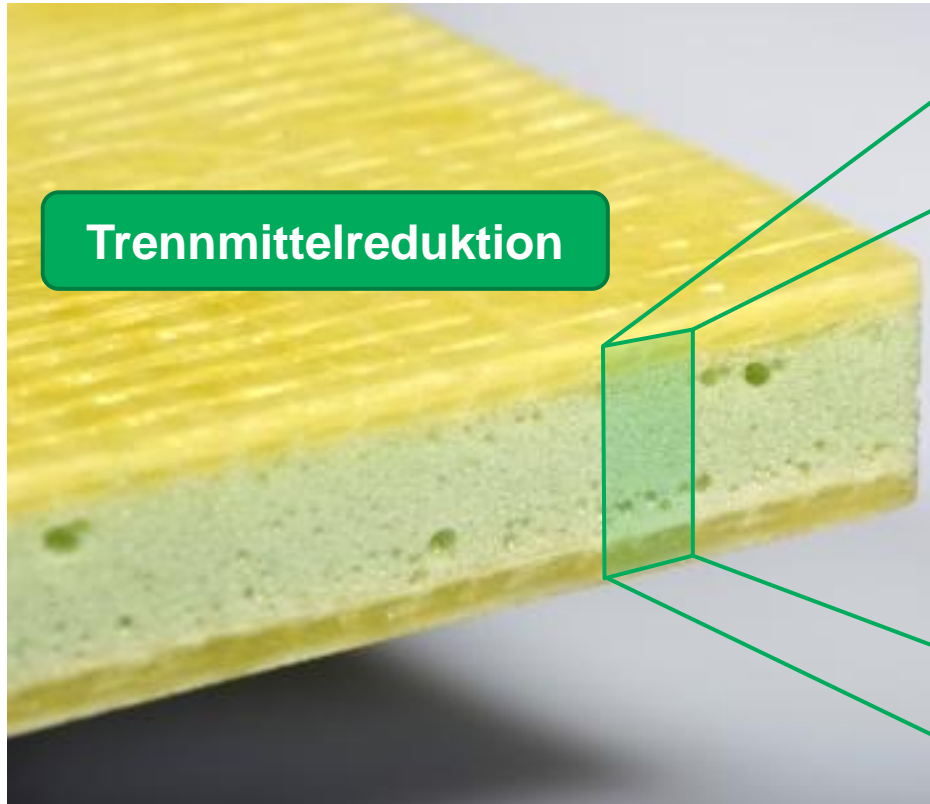


Decklagen: puropreg®185 IT (Polyol),
 puronate® 900 (Isocyanat)
 Kern: purotherm® 448 LF (Polyol),
 puronate® 900 (Isocyanat)

RÜHL PUROMER
 GmbH, Friedrichsdorf 

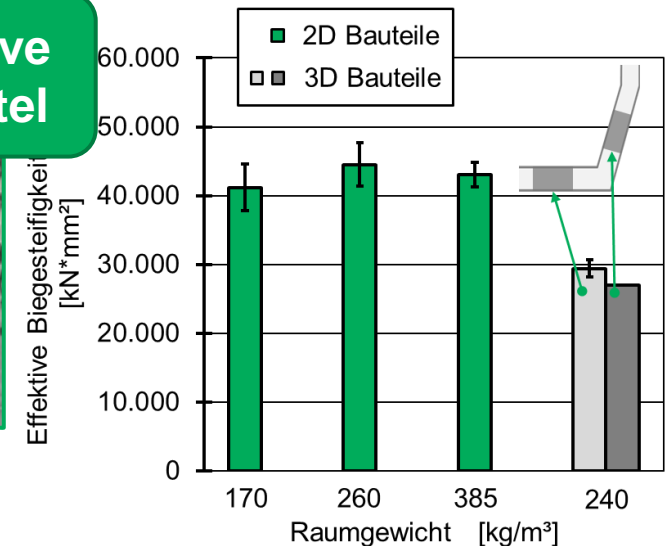


Im einstufigen Prozess hergestelltes PUR-Sandwich-Bauteil mit endlosfaserverstärkten Decklagen und PUR-Schaumkern



Decklagen: puropreg®185 IT (Polyol),
puronate® 900 (Isocyanat)
Kern: purotherm® 448 LF (Polyol),
puronate® 900 (Isocyanat)

RÜHL PUROMER GmbH, Friedrichsdorf 



Wie können bestehende Prozesse nachhaltig und kosteneffizienter gestaltet werden?

Forschungsansätze zur Effizienzsteigerung bestehender PUR-Prozesse

Alternative Treibmittel

Kostengünstige PUR-Formschäume
geringer Dichte durch CO₂-Online-
Dosierung

Laufzeit: 08/2016 – 07/2018



Projektpartner und -begleitung



Trennmittelreduktion

Kostengünstige und energieeffiziente
PUR-Fertigung durch trennmittelfreie
Entformung

Laufzeit: 02/2018 – 01/2020

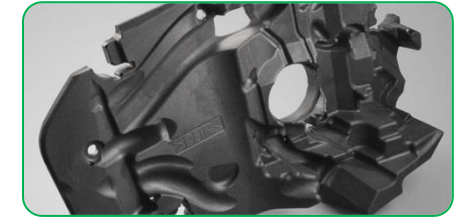


Projektpartner und -begleitung



Motivation zum Einsatz von CO₂ als Treibmittel

- + Harnstoffe und Hartsegmente werden nicht gebildet
→ weiterer Einstellungsbereich der mechanischen Eigenschaften
- + Hohes ökologisches Potential
 - Abfallprodukt verschiedener industrieller Prozesse
 - Geringes GWP und ODP
- + Sichere Verarbeitung
- + Geringe Rohstoffkosten
- Bisher können nur geringe Anteil (< 1,5 Gew.-%) verarbeitet werden
- Schlechte Isolationseigenschaften

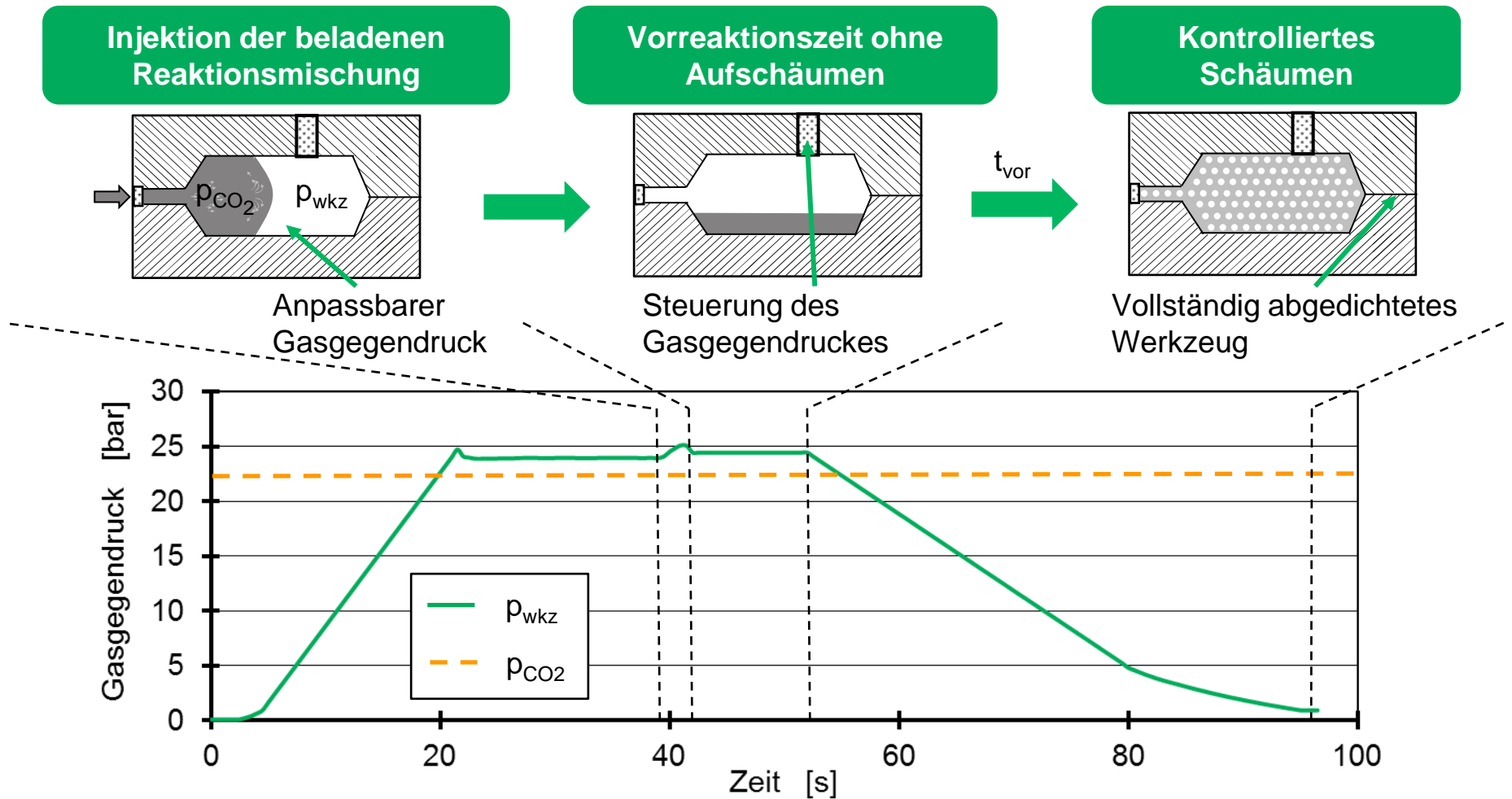


[BASF, Covestro]

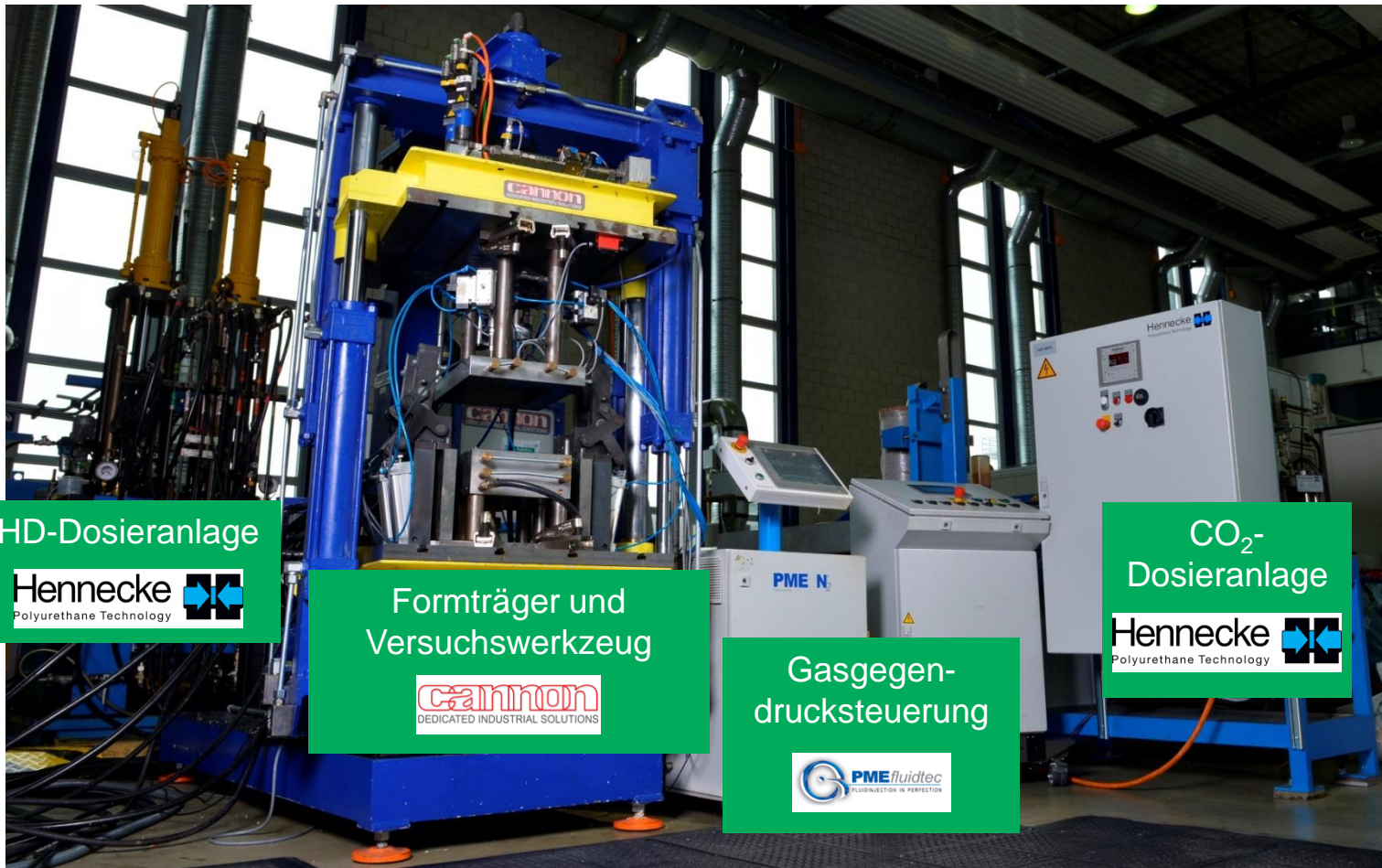
Ansatz:

Das Entkoppeln der Aushärtereaktion vom Schäumprozess durch das Aufbringen durch einen Gasgedrückt in der Werkzeugkavität. Dies wird mit einer massegeregelten Online-Dosierung des CO₂ in die Polyol-Zulaufleitung direkt vor dem Mischkopf kombiniert.

Schematischer Ablauf der Schaumreaktion und des Gasgegendruckverlaufs



Die Anlagentechnologie beim Online-Gasgegendruck (Online-GGD)-Verfahren



HD-Dosieranlage



Formträger und
Versuchswerkzeug



Gasgegen-
drucksteuerung

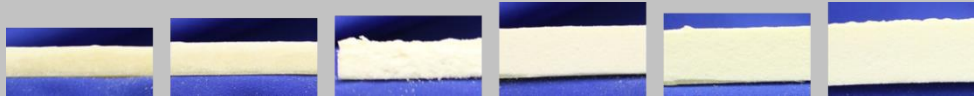


CO₂-
Dosieranlage



Methodischer Ansatz zur Prozessentwicklung der Online-GGD-Technologie

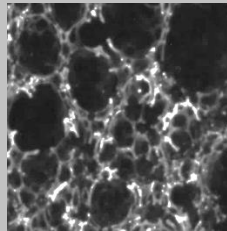
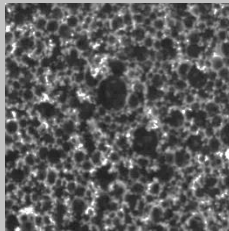
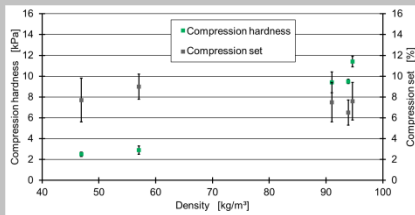
Schäumstudien bei konstantem Gasgedruck während der Aushärtung



CO₂-Gehalt

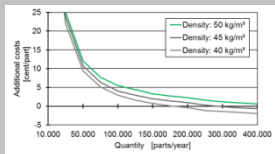
- Bestimmung des GGD bei Injektion
- Bestimmung der Vorreaktionszeit für definierten GGD und CO₂-Gehalt (ω_{CO_2})
- Angepasste GGD-Kurve an das Reaktionsverhalten der ausgewählten PUR-Systeme

Einfluss der relevanten Prozess-Parameter auf die Bauteileigenschaften



- Einfluss von ω_{CO_2} und der Dichte auf die mechanischen und physikalischen Eigenschaften (z.B. Druckverformungsrest, Wärmeleitfähigkeit)
- Resultierende Schaummorphologie (z.B. Homogenität, Zellgröße)

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für unterschiedliche Anwendungen



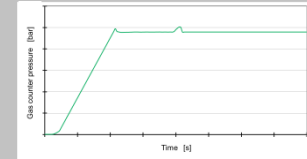
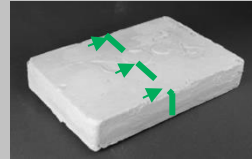
- Identifikation potenzieller Szenarien für den industriellen Transfer der Online-GGD-Technologie

[Formschaum, Hanwag, YanFeng]

Einfluss eines konstanten Gegendruckes während der Aushärtereaktion

$\omega_{\text{CO}_2} = 1,2 \text{ Gew.-%}$

PUR-Weichschaumsystem (Rühl):
Polyol: EP3533; Isocyanat: Puronate939



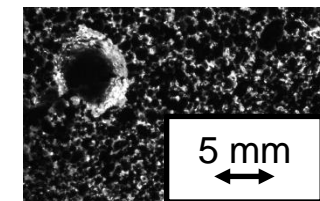
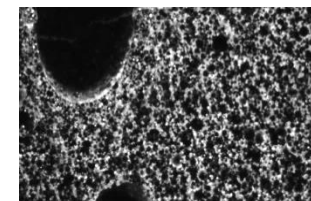
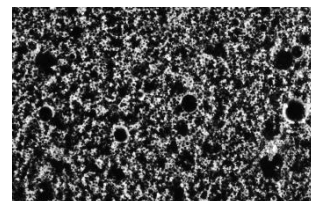
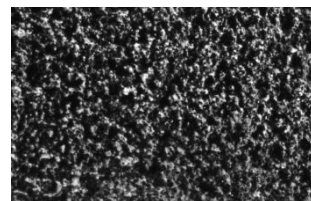
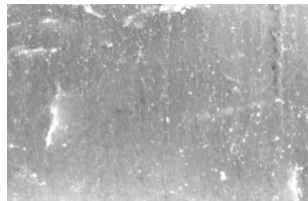
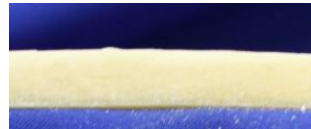
$p_{\text{wkz, inj}} = 20 \text{ bar}$

10 bar

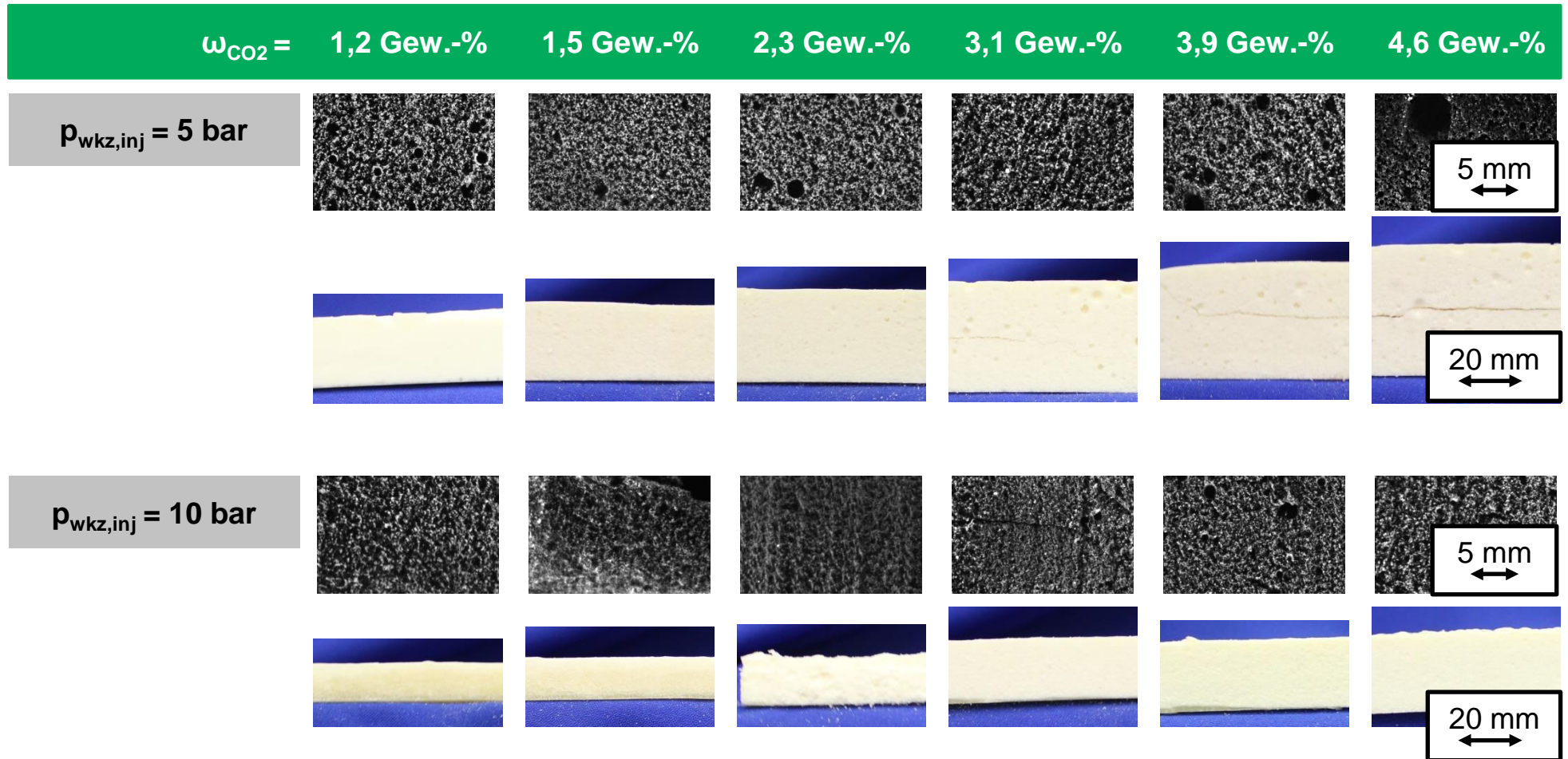
5 bar

2 bar

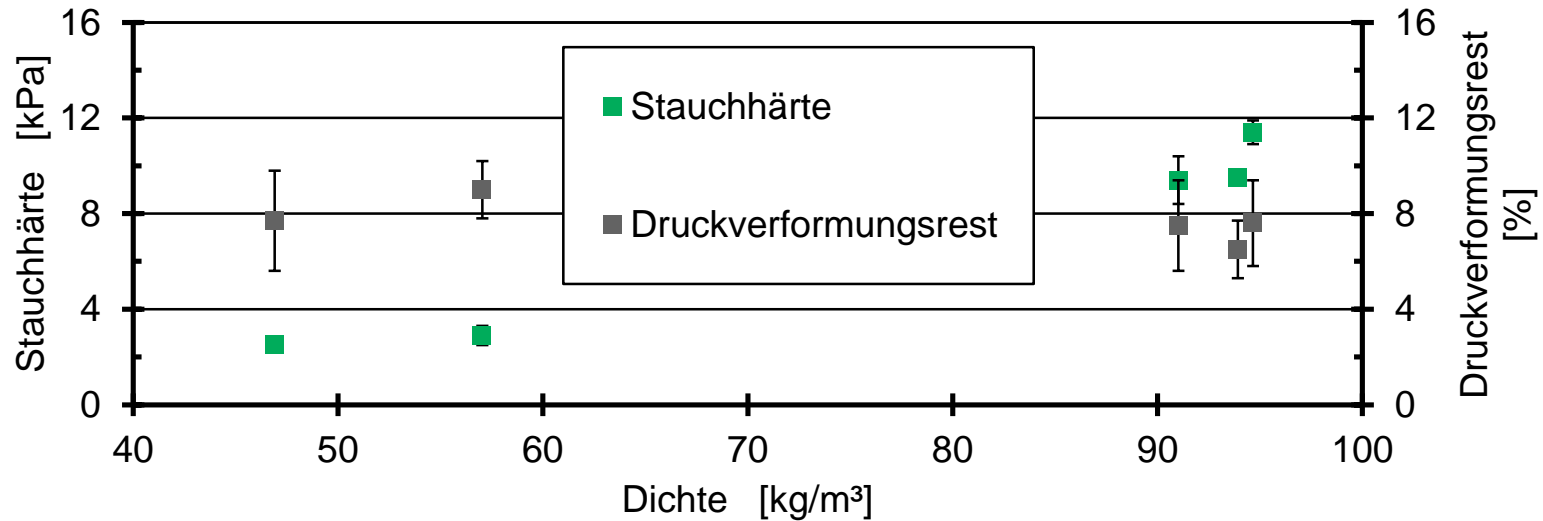
0 bar



Einfluss des CO₂-Gehalts bei konstantem Gasgegendrucke auf den Schäumprozess



Resultierende mechanische Eigenschaften eines Weichschaumsystems und der Transfer auf weitere PUR-Systeme



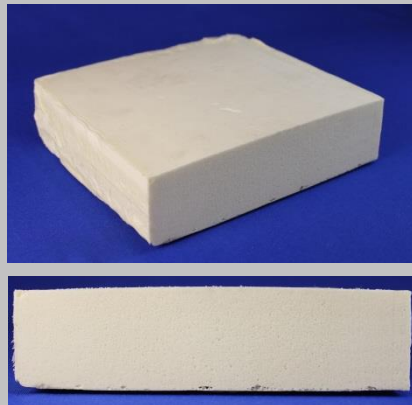
Anforderungen:

- ✓ Dichte < 50 kg/m³
- ✓ Stauchhärte < 5 kPa
- Druckverformungsrest < 7 %



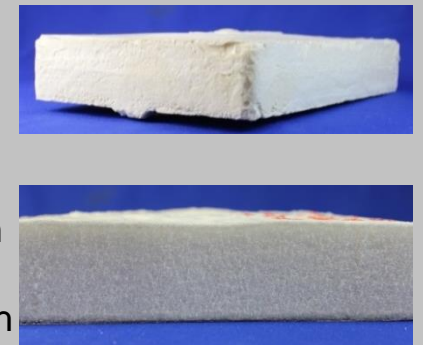
Hartschaum-System (Covestro Deutschland AG)

- Dichtebereich:
85 – 125 kg/m³
- Druckfestigkeit:
500 – 800 kPa
- Anwendung als
Sandwich-Kernmaterial



Elastomeres Schaumsystem (Getzner Werkstoffe GmbH)

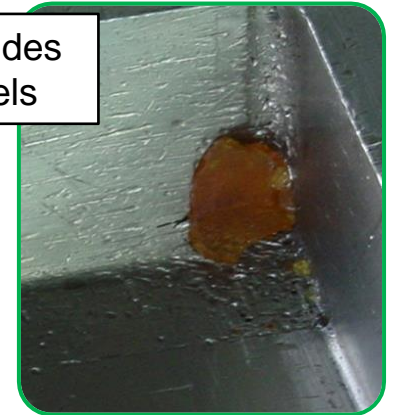
- Dichtebereich:
120 – 300 kg/m³
- Druckverformungsrest und
dämpfenden Eigenschaften
werden bestimmt
- Anwendung als mechanisch
dämpfende Komponente



Motivation der trennmittelfreien PUR-Verarbeitung

- Technische Faktoren
 - Reinigung von Werkzeug und Bauteil notwendig
 - Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften bei internen Trennmitteln möglich
- Ökologische Faktoren
 - Lösemittlemissionen
 - Energieverbrauch in der Herstellung und dem Auftragen
- Wirtschaftliche Faktoren
 - Zykluszeitverlängerungen
 - Material- und Lagerkosten
 - Zusatzequipment (z. B. Druckbereitstellung, Absaugung)

Versagen des
Trennmittels



Aufbau von
Trennmittel-
rückständen

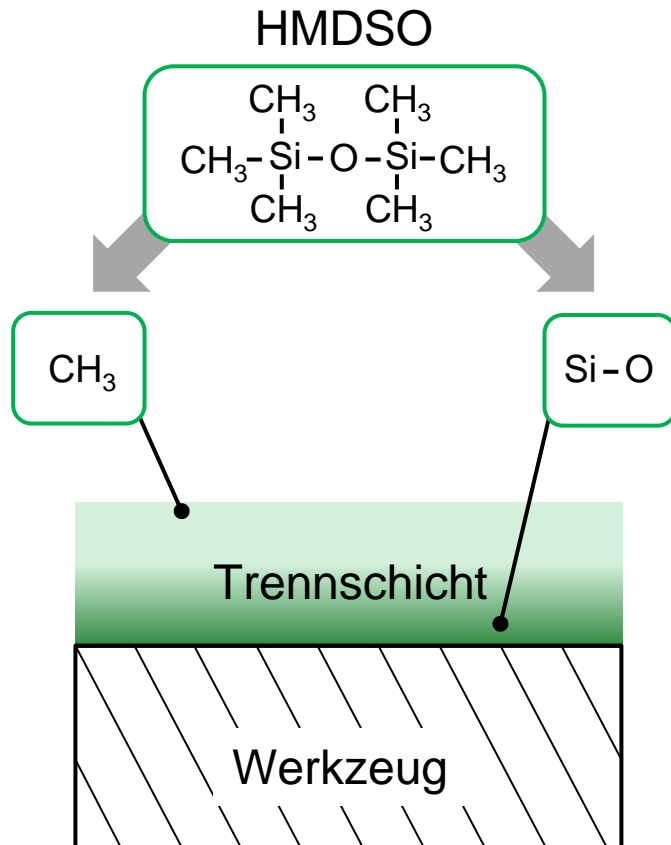


Ansatz:

Verzicht auf Trennmittel bei der Herstellung von PUR-Formbauteilen durch den Einsatz plasmapolymere Trennschichten



Stand der Technik: Plasmapolymerisierte Trennschichten

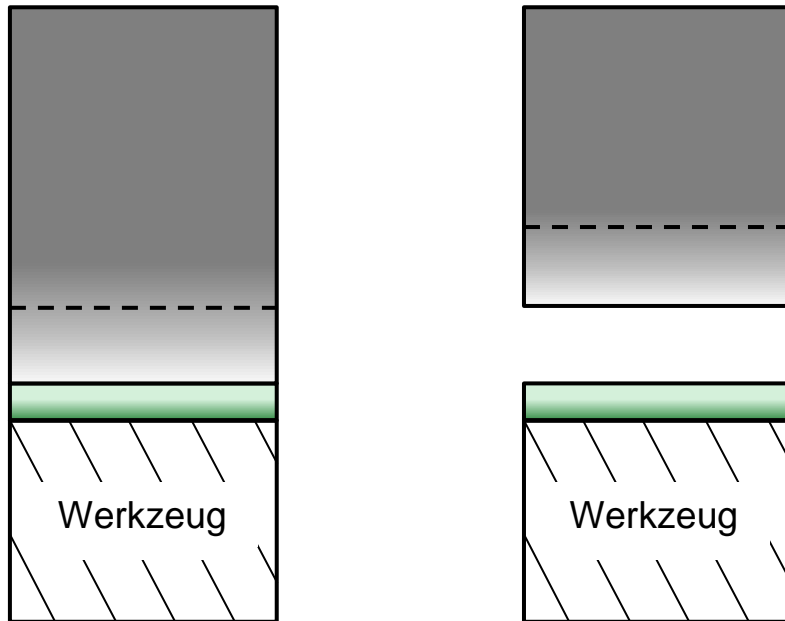


- Auftrag im Niederdruckplasma
- Schicht: Polysiloxan
- Hochvernetzte Gradientenschicht
- Dicke typ. $\leq 2 \mu\text{m}$
- Dehäsive Eigenschaften:
 - Niedrige Oberflächenenergie ($\leq 2 \text{ mN/m}$)
 - Sehr geringe Polarität ($\leq 1,5 \text{ mN/m}$)
- Gute Haftung auf diversen Werkzeugoberflächen
- Einstellbare Härte (E-Modul bis 10 GPa)
- Hohe Reproduzierbarkeit



Zielsetzung bei der trennmittelfreien Entformung

Adhäsionsbruch bei der Entformung

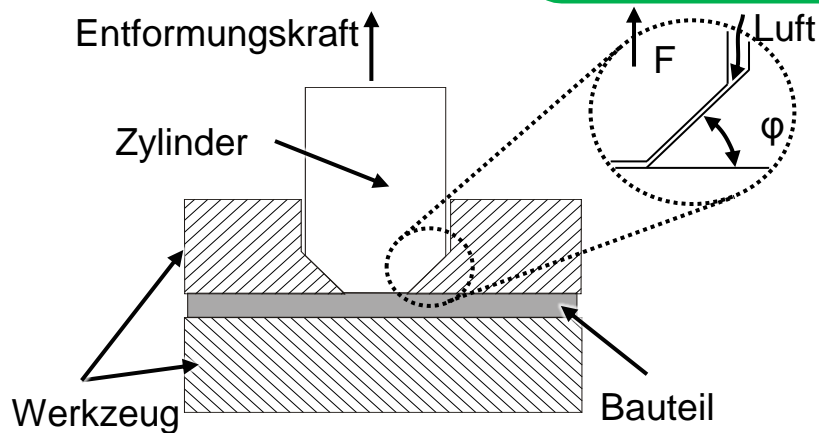
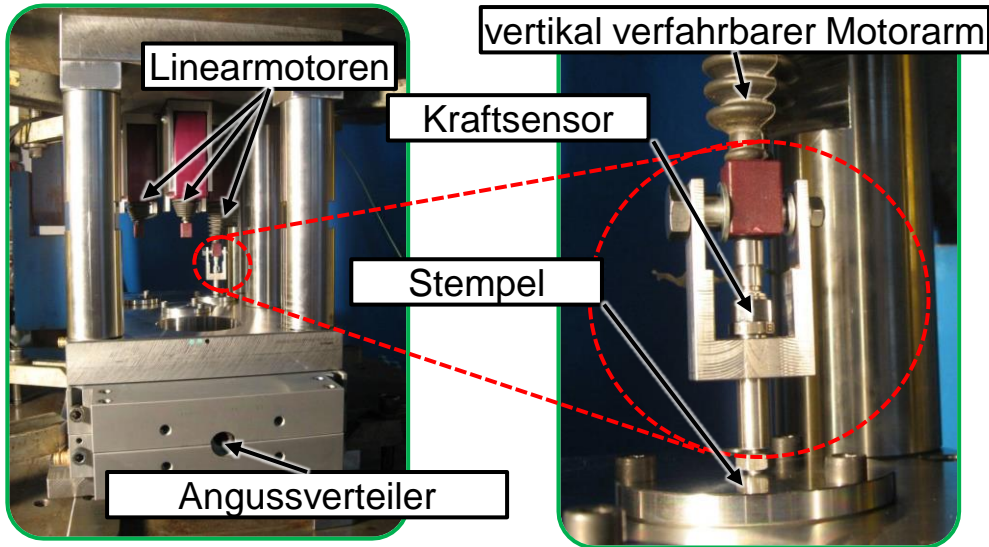


■ Permanente Trennschicht

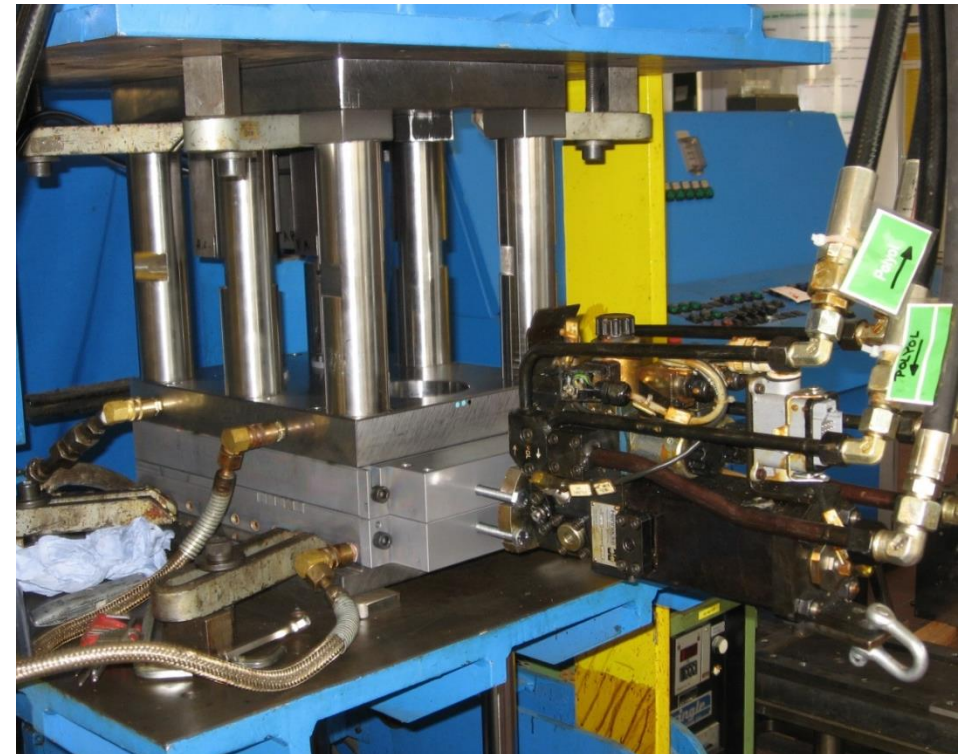
- Erzeugung eines reinen Adhäsionsbruchs
- Vollständige Vermeidung konventioneller Trennmittel
 - Keine Lösungsmittlemissionen
 - Kein Reinigungsaufwand
- **Kontrolle der Interphase**
- Sichere Nachbearbeitung durch Verkleben oder Lackieren
- Hohe Oberflächenabbildungsgenauigkeit
- Wirtschaftliche Werkzeugstandzeiten



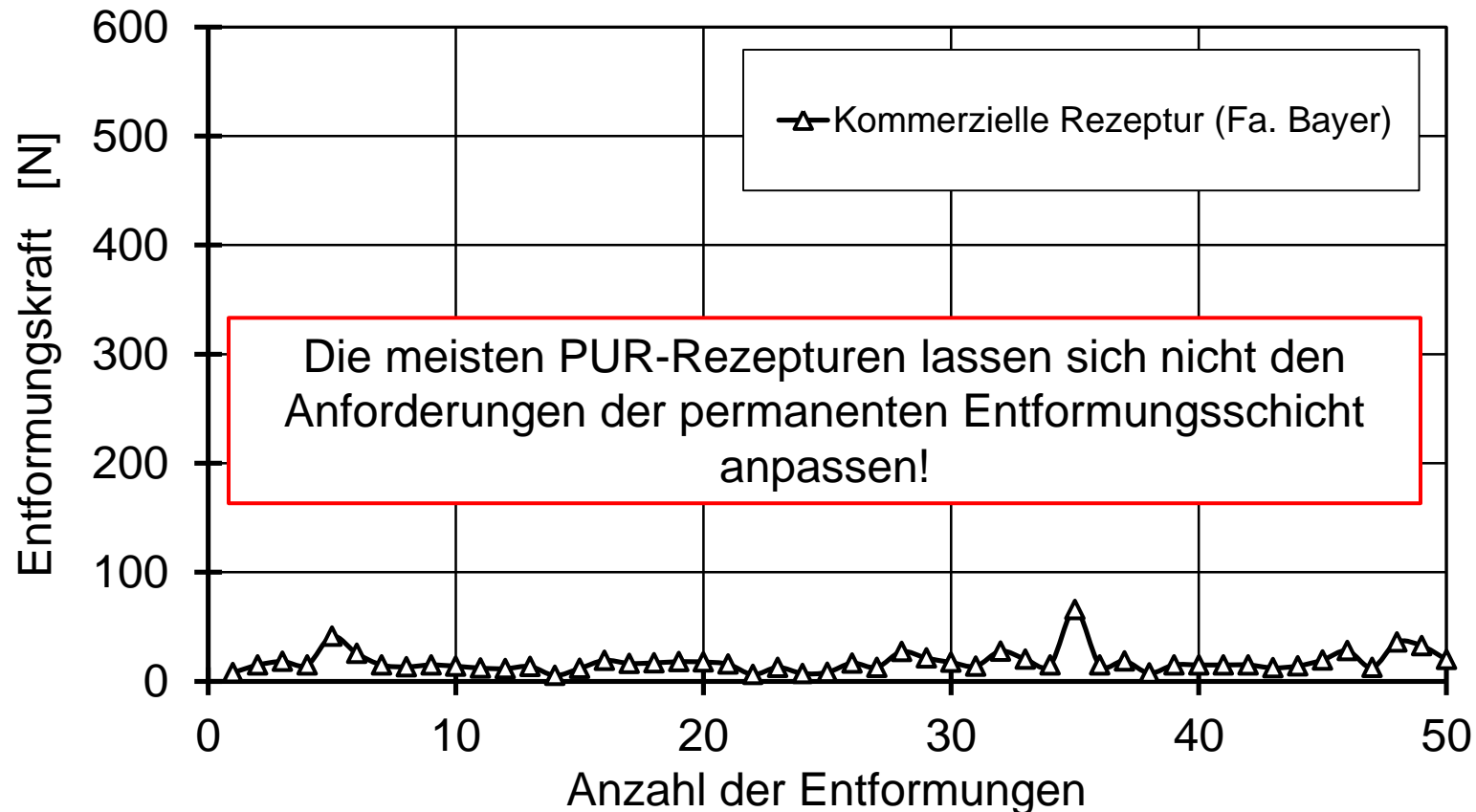
Laborwerkzeug zur Bestimmung der Haftkraft unter industriellen Verarbeitungsbedingungen



Werkzeug mit Mischkopf auf Formträger am IKV

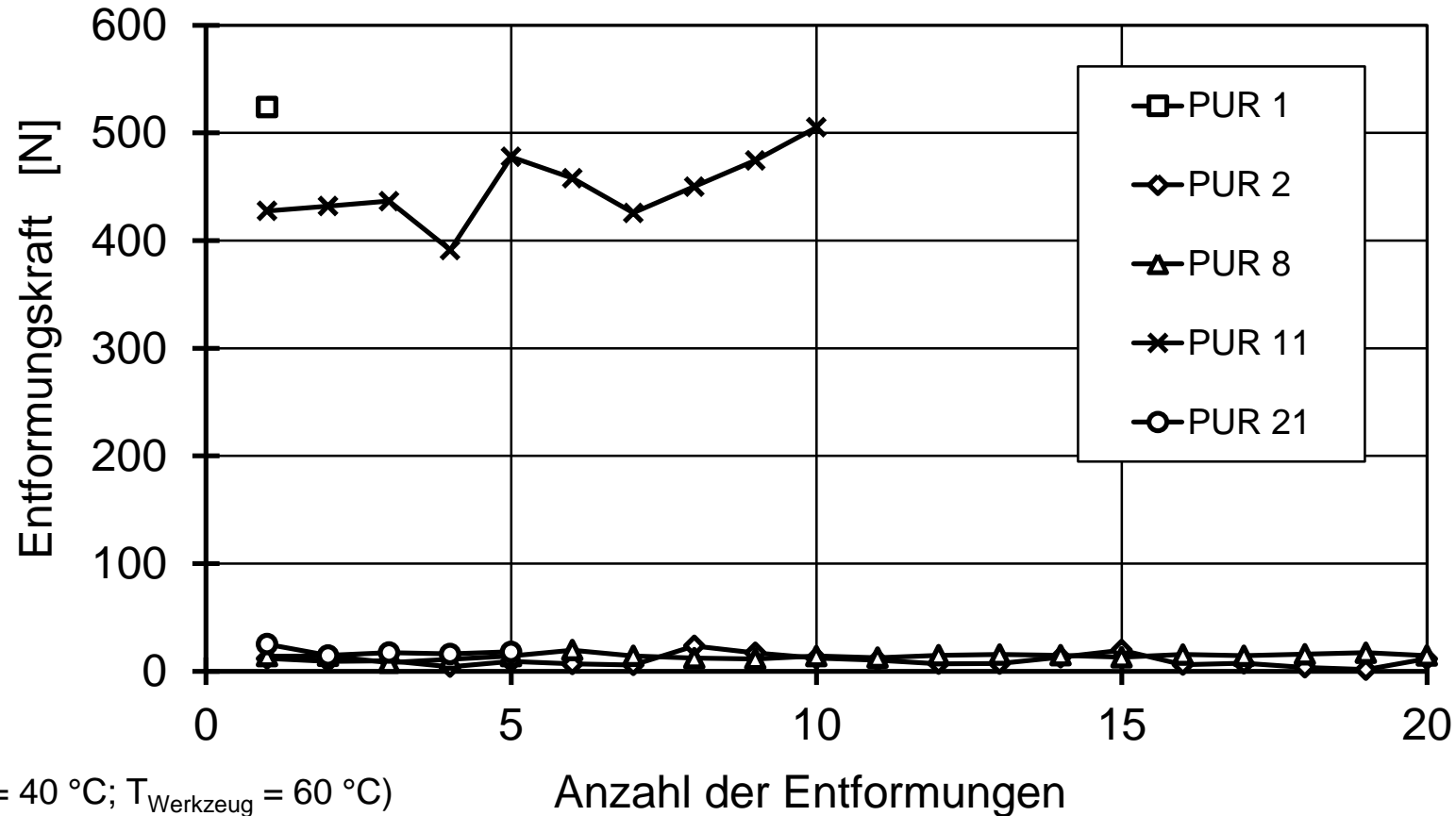


Entformungsverhalten eines angepassten, kommerziellen PUR-Systems

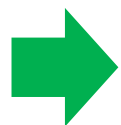


($T_{\text{Material}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{Werkzeug}} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$) Polyol: BAYDUR® 80IK28/DO, Isocyanat: Desmodur SWE

Unterschiede in den Haftkräften bei ausgewählten Modellrezepturen



($T_{\text{Material}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{Werkzeug}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$)

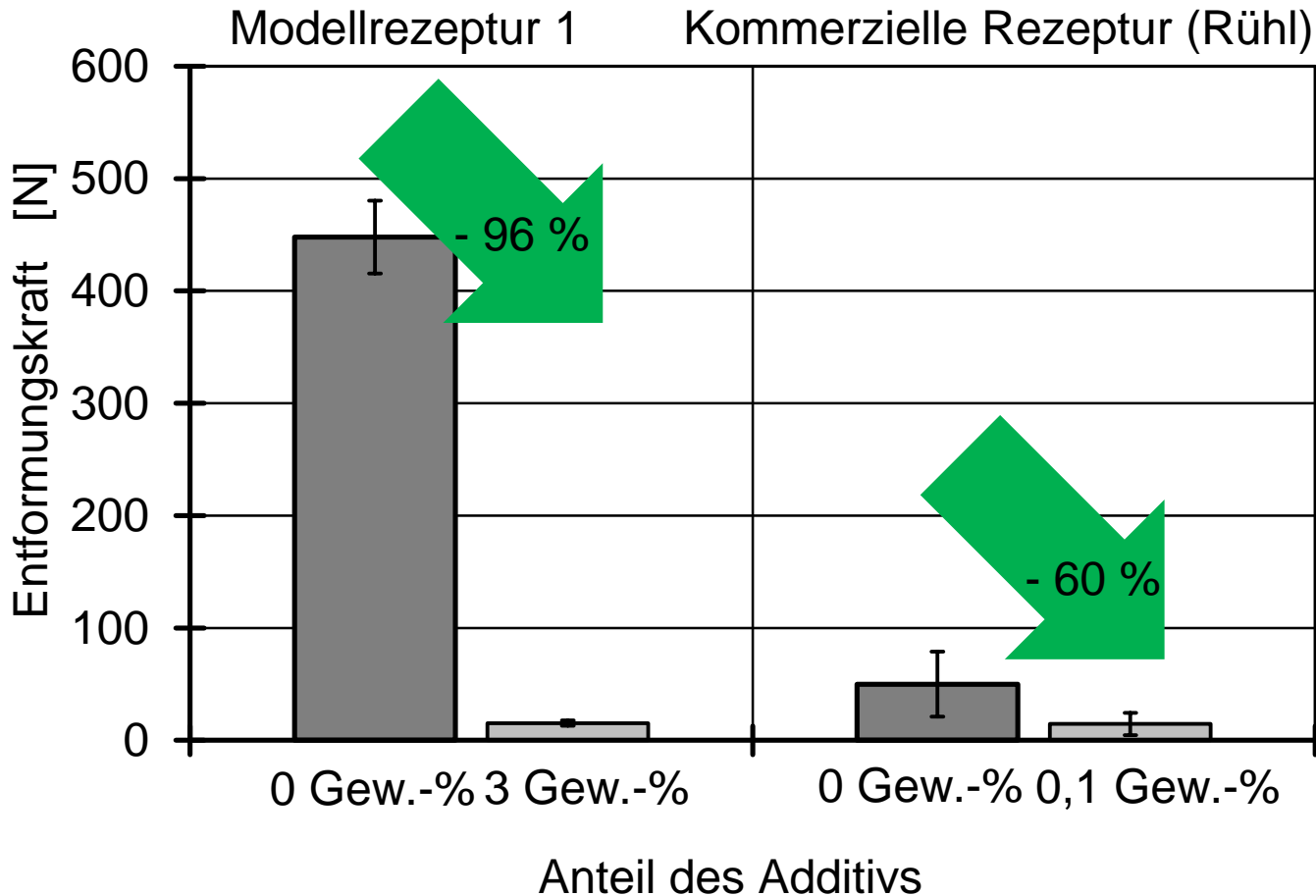


Einsatz einer gezielten Additivierung zur Stabilisierung der Interphase



Reduktion der Entformungskräfte durch die Verwendung eines grenzflächenaktiven Additivs

(Polyol: EP 3417, Isocyanat: puronate 980; $T_{\text{Material}} = 40 \text{ °C}$; $T_{\text{Werkzeug}} = 60 \text{ °C}$)



Tensidstrukturen auf Basis von Siloxanen

- Erzeugung einer stabilen Interphase mit hohen Kohäsionskräften
- Einbau in das molekulare Netzwerk
- Kein Einfluss auf die physikalischen und mechanischen Eigenschaften
- Benetzungsfähigkeit der Trennschicht
- Verträglichkeit mit dem PUR-System



Zwischenfazit

- Mit bestimmten, trennmittelfreien PUR-Systemen und der ReleasePLAS-Beschichtung lassen sich sehr niedrige Entformungskräfte realisieren
- Es sind Additive identifiziert worden, die die Interphase übertragsfrei stabilisieren
- Bestimmte PUR-Systeme lassen sich nur in Gegenwart dieser Additive entformen

- Besonders der verwendete **Katalysator** hat einen großen Einfluss auf die Entformungseigenschaften
- Das **PUR-System selbst**, als auch seine **Verarbeitungsparameter** haben einen Einfluss auf die Trennwirkung und die Interphasenstabilität
- Trockene Entformung als potenzielle Befähigungstechnologie für funktionalisierte und strukturierte Oberflächen

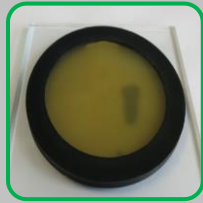
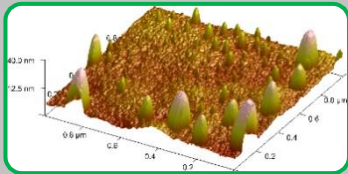


Aktuelles Forschungsvorhaben: Kostengünstige und energieeffiziente Fertigung von PUR-Formteilen durch trockene Entformung



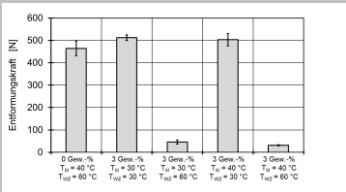
Methodischer Ansatz Entwicklung einer trennmittelfreien PUR-Formteil-Fertigung

Verständnis des wissenschaftlichen Zusammenhangs zwischen Entformungsverhalten und eingesetztem Katalysatorsystem



- Handverguss- und Trennversuche
- Bestimmung der Zusammensetzung und der mechanischen Eigenschaften der Interphase
- Ausgewählte industrielle PUR-System / Katalysator-Kombinationen für Prozessanalyse

Einfluss der Werkzeug- und Prozessparameter auf das Entformungsverhalten



- Haftkraftmessungen im Laborwerkzeug
- Werkzeugkonstruktion und -fertigung zur Analyse unterschiedlicher Oberflächenstrukturen sowie unterschiedlicher Anguss- und Entlüftungskonzepte unter Berücksichtigung der Standzeit der Schicht
- Analyse des Einflusses der trockenen Entformung auf die Bauteileigenschaften bei industriellen PUR-Systemen

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für potenzielle Anwendungen



- Identifikation potenzieller Szenarien für den industriellen Transfer der trennmittelfreien Entformung

POLYURETHAN 4.0 – Fazit und Ausblick

Fazit

Es existieren bereits unterschiedliche Ansätze für eine kosteneffiziente und nachhaltige Produktion von PUR-Formbauteilen, die in die industrielle Praxis überführt werden müssen.

Vision

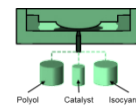
Integration von Inline-Systemen und -Methoden zur Analyse von Prozess-, Material- und Bauteil-Parameter für eine effiziente, selbstregulierende Produktion von (faserverstärkten) kompakten oder geschäumten PUR-Bauteilen



Kosteneffizienz



Reduzierung
der Zykluszeit



Dosier-
technologie



Anpassbare
Eigenschaften



Qualitätssicherung



Simulations-
validierung



Prozess-
überwachung



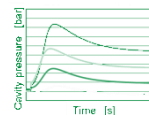
Bestimmung des
Aushärtegrads



Ökologie



Alternative
Treibmittel



Ermittlung
Materialdaten

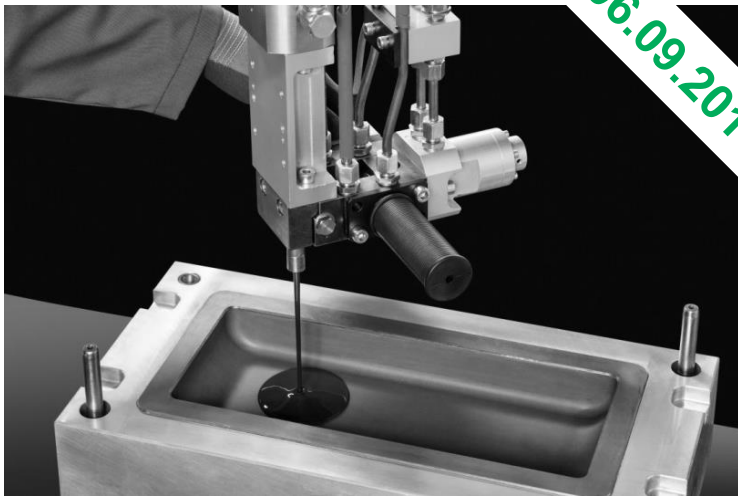


Verringern der
Entformungskraft

Weitere Veranstaltungen im Bereich Polyurethane am IKV

Polyurethanes

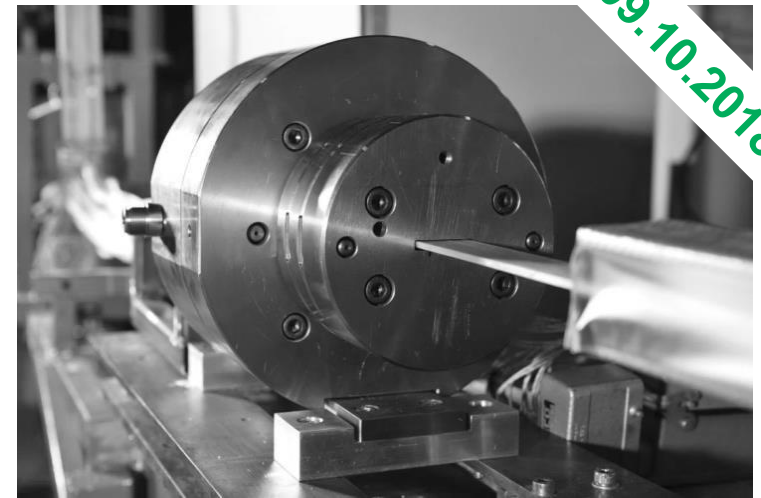
Trends in PU-Processing



- Sustainable PU applications and technological enablers
- Eco-Friendly materials, additives and recycling of PU
- Institutional and fundamental research
- Industry 4.0 in PU-processing

Reactive Pultrusion

Approaches for a cost-efficient FRP-profile production



- New developments in reactive resins as composite matrix material
- Target applications for reactive pultrusion processes
- Equipment for the pultrusion of profiles in high volumes
- Institutional and fundamental research

28. Februar - 1. März 2018

Internationales Kolloquium Kunststofftechnik

INSTITUT FÜR
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG
IN INDUSTRIE UND HANDWERK AN DER RWTH AACHEN



Internationales Kolloquium Kunststofftechnik 2018

Termin vormerken: 28. Februar - 1. März 2018 · Aachen

www.ikv-kolloquium.de

