UNIVERSITÄT PADERBORN

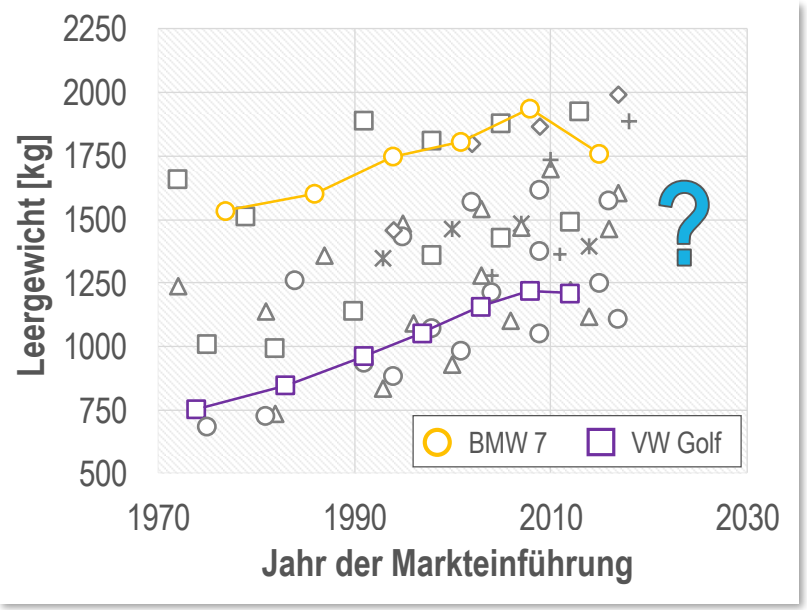
4A-TECHNOLOGIETAG, 26.02.2019

CFK-STAHL HYBRIDSYSTEME FÜR STRUKTURANWENDUNGEN

UNIVERSITÄT PADERBORN, LEHRSTUHL FÜR LEICHTBAU IM AUTOMOBIL

JAN STRIEWE

Multi-Material-Leichtbau



- Stetige Zunahme der Fahrzeugmassen in den vergangenen Jahrzehnten aufgrund steigender Komfort- und Sicherheitsanforderungen

BMW Group University 2015: Technical Training G12 Introduction

- Pressharte Stähle
- Mehrphasenstähle
- Aluminum
- CFK
- Sonstige Stähle

+ Hohe Festigkeit
+ Hohe Steifigkeit aufgrund eines hohen Elastizitätsmoduls
- Hohe Dichte
- Stabilitätsprobleme durch Reduzierung der Blechdicke

+ Gute gewichtsspezifische Festigkeit
- Begrenzte Formbarkeit
- Geringes Steifigkeitspotenzial aufgrund des niedrigen Elastizitätsmoduls

+ Hervorragende gewichtsspezifische Eigenschaftswerte
+ Hohes Energieabsorptionsvermögen
- Katastrophales Materialversagen
- Hohe Fertigungskosten

Kurzvorstellung des Lehrstuhls

Universität Paderborn

- Gründungsjahr: 1972
- Fakultäten:
  - Kulturwissenschaften
  - Wirtschaftswissenschaften
  - Naturwissenschaften
  - Maschinenbau
  - Elektrotechnik, Informatik und Mathematik
- Studenten: > 20.200
- Mitarbeiter: > 2.400

Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen (ILH)

- Zusammenschluss von 11 Lehrstühlen der Universität Paderborn
- Interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachbereiche Maschinenbau, Chemie und Physik

Lehrstuhl für Leichtbau im Automobil (LiA)

- Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr. rer. nat. habil Thomas Tröster
- 1 Oberingenieur, 20 Wissenschaftliche Mitarbeiter
- 18 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter und studentische Hilfskräfte

Agenda

I. Einleitung

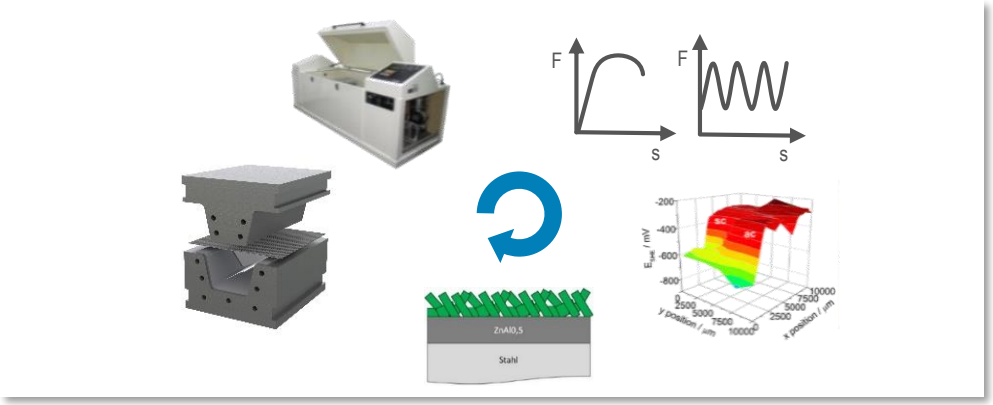
II. Modifizierung und Charakterisierung von Substratoberflächen

III. Ausgewählte experimentelle Untersuchungen

Forschungsprojekt Grenzschichten

- **Zielsetzung:** Steigerung der Korrosions- und Alterungsbeständigkeit intrinsisch gefügter CFK-Stahl-Hybridsysteme durch ein innovatives Oberflächenvorbehandlungsverfahren des Stahlsubstrats.
- **Ausgewählte Schwerpunkte:** Einfluss nasschemisch abgeschiedener Zinkoxid-Nanoschichten auf die Haftung zu kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff u.a. nach Lagerung in korrosiven Umgebungsbedingungen. Analyse der Korrosions- und Alterungsmechanismen.
- **Projektlaufzeit:** 01.01.2017 - 31.03.2019
- **Forschungsstellen:**
  - Lehrstuhl für Leichtbau im Automobil (LiA)
  - Technische und Makromolekulare Chemie (TMC)
  - Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik (LWF)

(IGF-Nr.: 19246N)



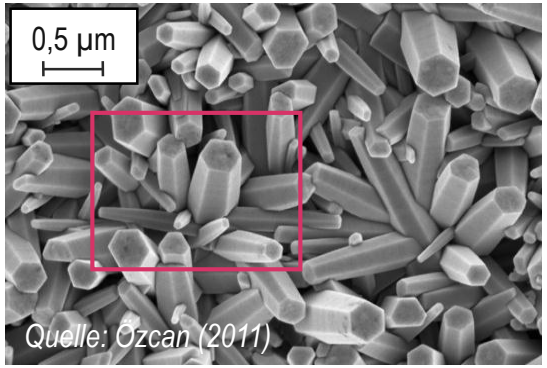
Aspekte der Grenzschichtentwicklung

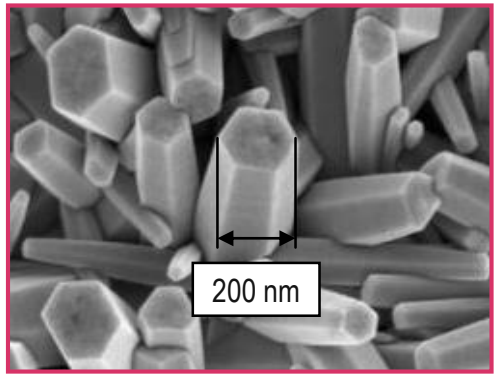
Zusammensetzung des projektbegleitenden Ausschusses

Modifizierung und Charakterisierung von Substratoberflächen

Grenzschichtentwicklung

- Hydrothermale Abscheidung von Zinkoxid-Nanostäbchen auf Metallen wurde u.a. von ÖZCAN untersucht
- Oberflächenmorphologie (Belegung, Kristallgröße und -orientierung, etc.) abhängig von den Beschichtungsparametern

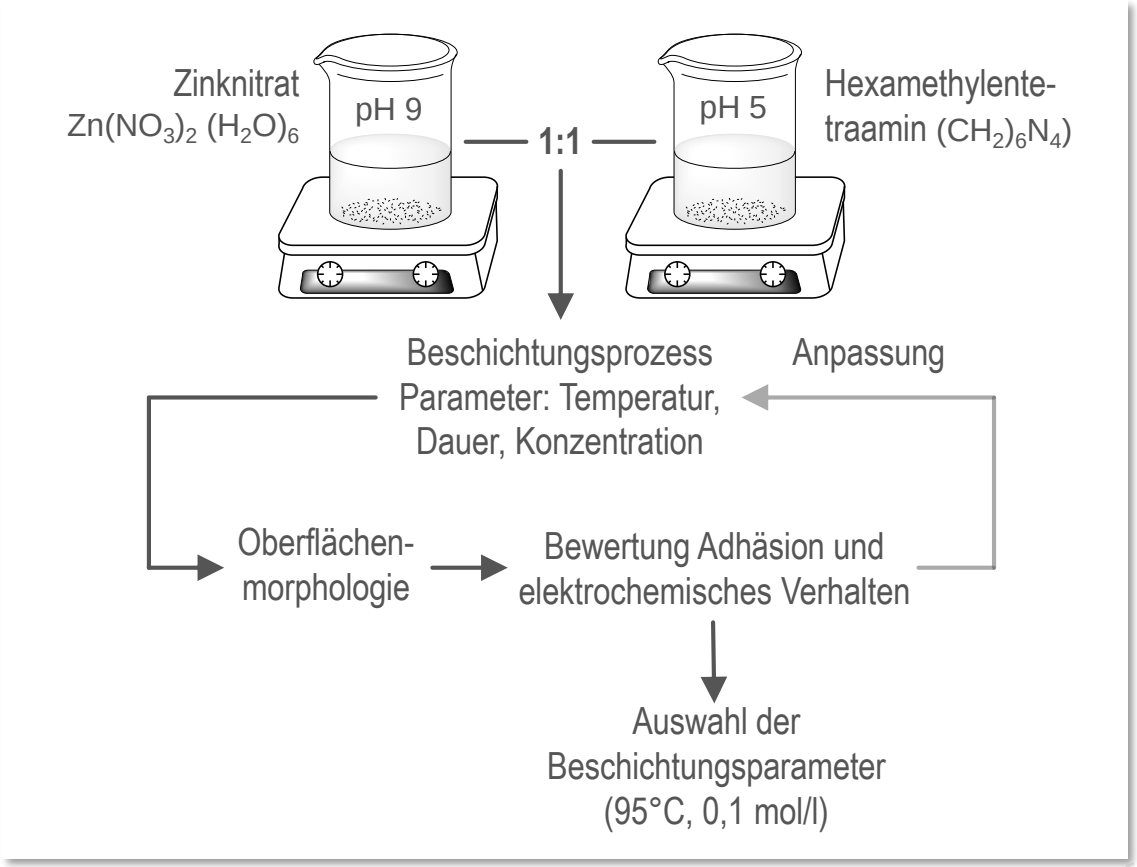




+ Chemische Stabilität

+ Umweltverträglichkeit des Verfahrens

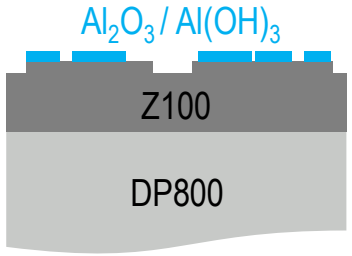
➢ Abstimmung des Verfahrens für die Oberflächenvorbehandlung von Stahlsubstraten



Schema der Grenzschichtentwicklung (TMC)

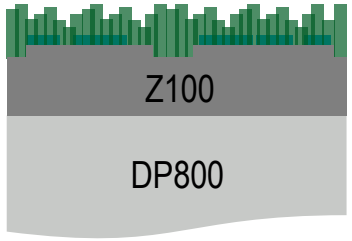
Modifizierung und Charakterisierung von Substratoberflächen

Schritte der Oberflächenbehandlung



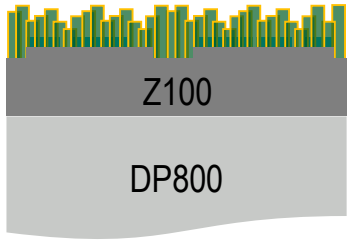
S1: Alkalische Reinigung (AR)

Reinigung in alkalischer Reinigungslösung (pH: 12) bei 55 °C.



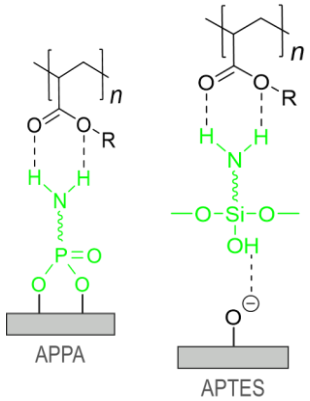
S2: Beschichtung (ZNO)

Abscheidung von Zinkoxid in äquimolarer wässriger Lösung aus Zinknitrat und Hexamethylenetetramin bei 95 °C.



S3A / S3B: Haftvermittlerauftrag (APPA / APTES)

Aufbringen von Aminopropylphosphonsäure (APPA) / Aminopropyltriethoxysilan (APTES) im Tauchverfahren mit anschließendem Tempervorgang.



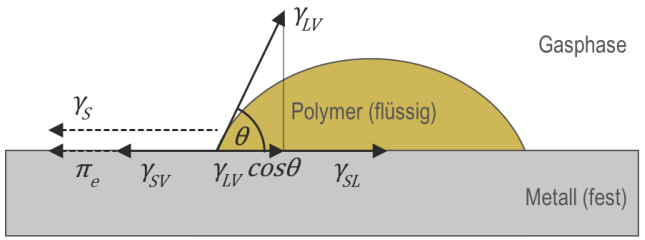
- Zielsetzung: Steigerung der Adhäsion und Alterungsbeständigkeit von Polymer/Metall-Verbunden

Modifizierung und Charakterisierung von Substratoberflächen

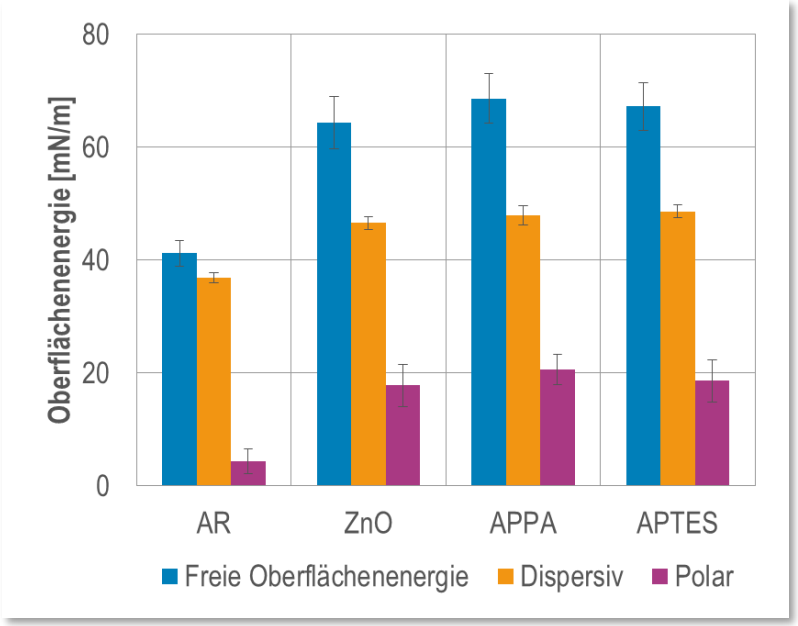
Oberflächencharakterisierung

Benetzbarkeit

- Benetzbarkeit des Festkörpers als zentrale Voraussetzung für die Entstehung von Adhäsion
- Bestimmung der freien Oberflächenenergie (Maß der Benetzbarkeit) mittels Kontaktwinkelmessungen
- YOUNG'sche Gleichung: $\gamma_s = \gamma_{sl} + \gamma_l \cdot \cos\theta$



Kontaktwinkel als Maß der Benetzbarkeit, z.B. nach GLEICH (2004)



- Oberflächenvorbehandlung führt zu Polaritätszunahme infolge elektronegativer Sauerstoffatome

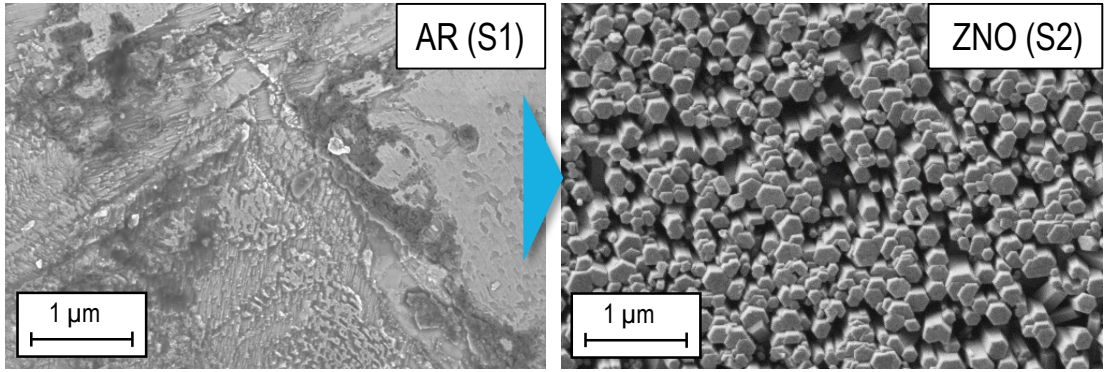
- ➢ Steigerung der Benetzbarkeit der Metalloberfläche
- ➢ Steigerung des Dipolcharakters und darauf beruhender physikalischer Wechselwirkungen (Dipolkräfte)

Modifizierung und Charakterisierung von Substratoberflächen

Oberflächencharakterisierung

Morphologie (REM)

- Visualisierung der Oberflächentopographie durch Bestrahlung der Probenoberfläche mit Elektronen und Detektion von Streu- und Sekundärelektronen (Auflösung von bis zu 1 nm)

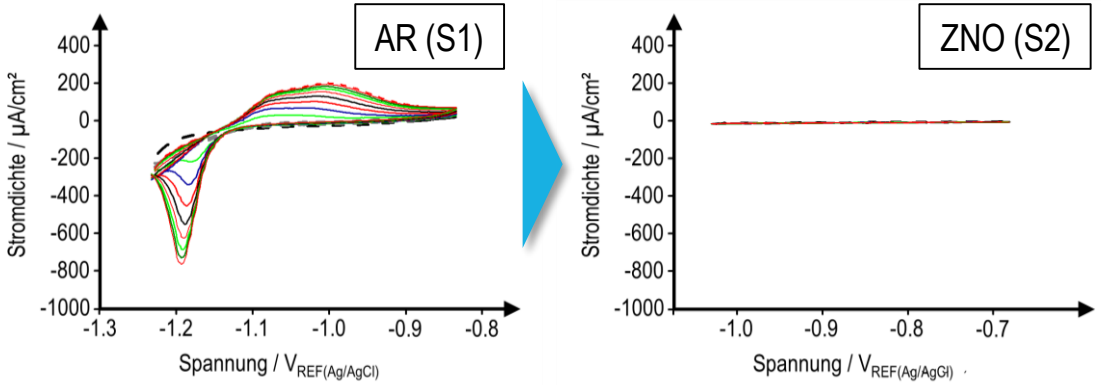


➢ Submikroskopische Vergrößerung der Metalloberfläche

➢ Möglichkeit zur Ausbildung mechanischer Verankerungen

Elektrochemisches Verhalten (Cyclovoltametrie)

- Oxidations- und Reduktionsmechanismen an der Arbeitselektrode (Probe) durch alternierend ansteigendes und abfallendes Potential



➢ Reduzierung der Redoxaktivität des Metallsubstrats

Agenda

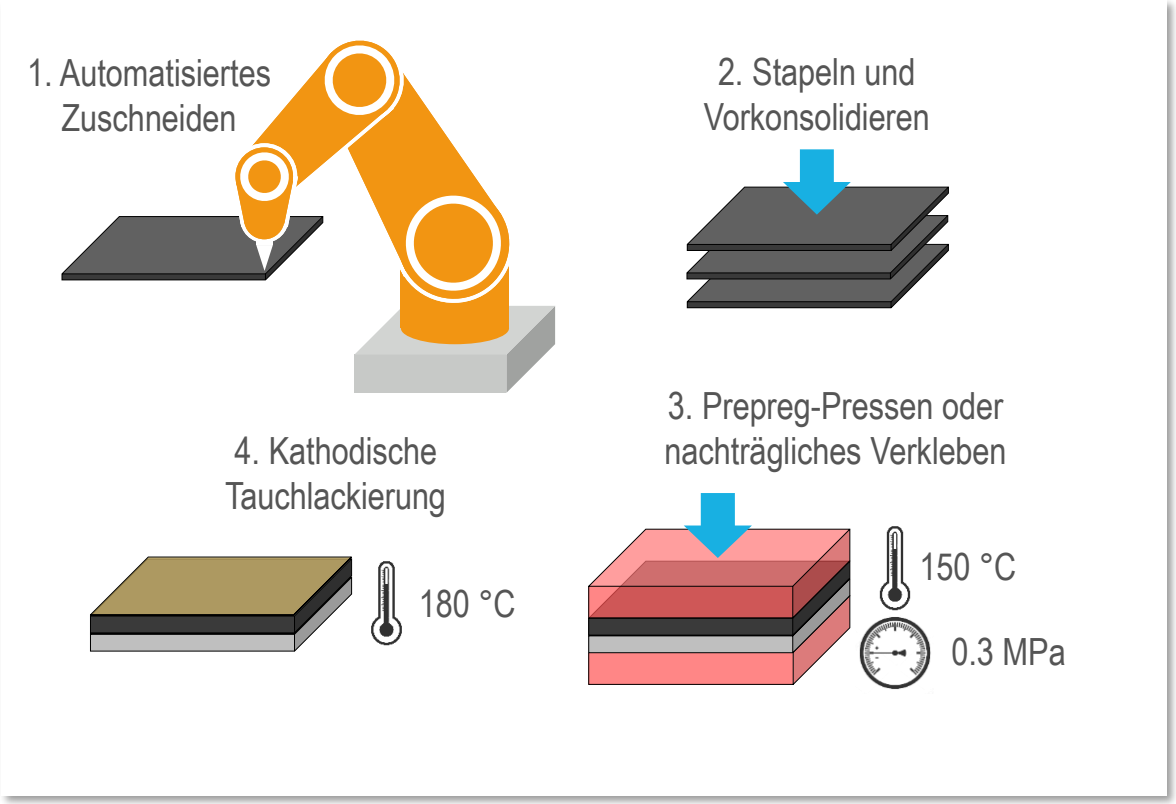
I. Einleitung

II. Modifizierung und Charakterisierung von Substratoberflächen

III. Ausgewählte experimentelle Untersuchungen

Ausgewählte experimentelle Untersuchungen

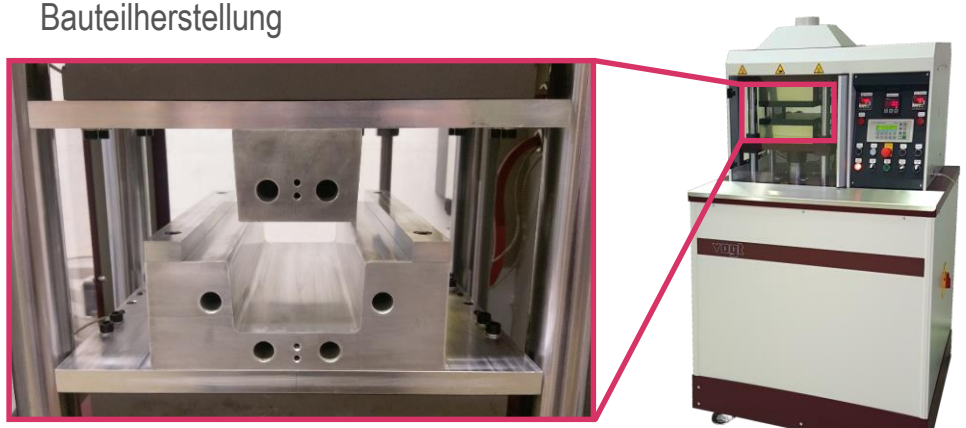
Prepreg-Pressverfahren zur Hybridbauteilherstellung



Anlagentechnik im Labormaßstab: **LaboPress P200S** (Vogt)

- Automatische Druck- und Temperaturregelung (Heizen und Kühlen)
- Mehrstufige Prozessführung (inkl. Entgasungspulsen)
- Vollständige Dokumentation der Prozessdaten

➢ Hohe Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit bei der Proben- und Bauteilherstellung

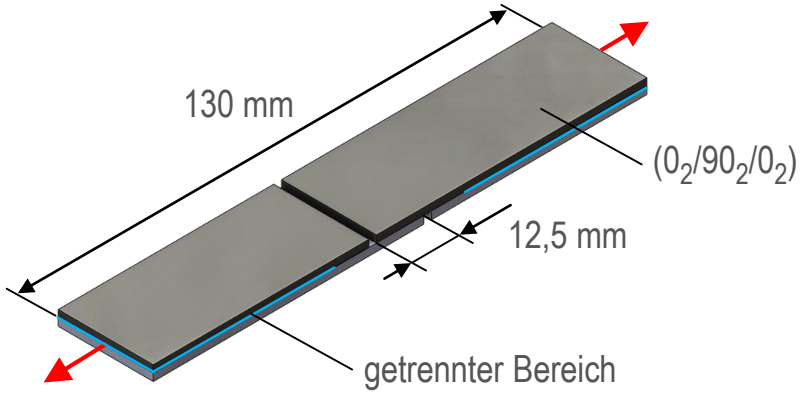


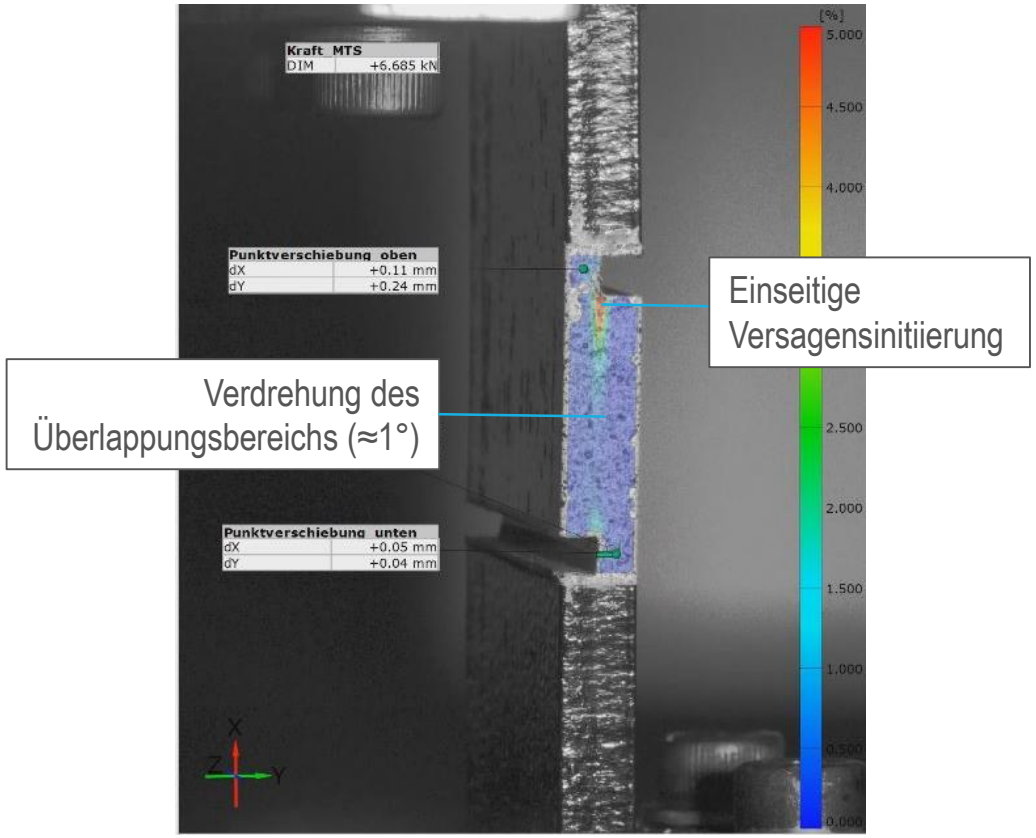
Beispiel: Hutprofilwerkzeug

Alterungs- und Haftungsprüfungen

Versuchsbedingungen und Versuchsdurchführung

- Zielsetzung: Bestimmung der Haftungsfestigkeit intrinsisch gefügter Hybridverbindungen unter Berücksichtigung der Alterung
- Auslagerung der Versuchskörper im VDA 621-415 Korrosionstest (10 Wochen)
- Bestimmung der Scherzugfestigkeit nach DIN 1465
- Begleitende optische Auswertung zur Bestimmung des Versagensverhaltens

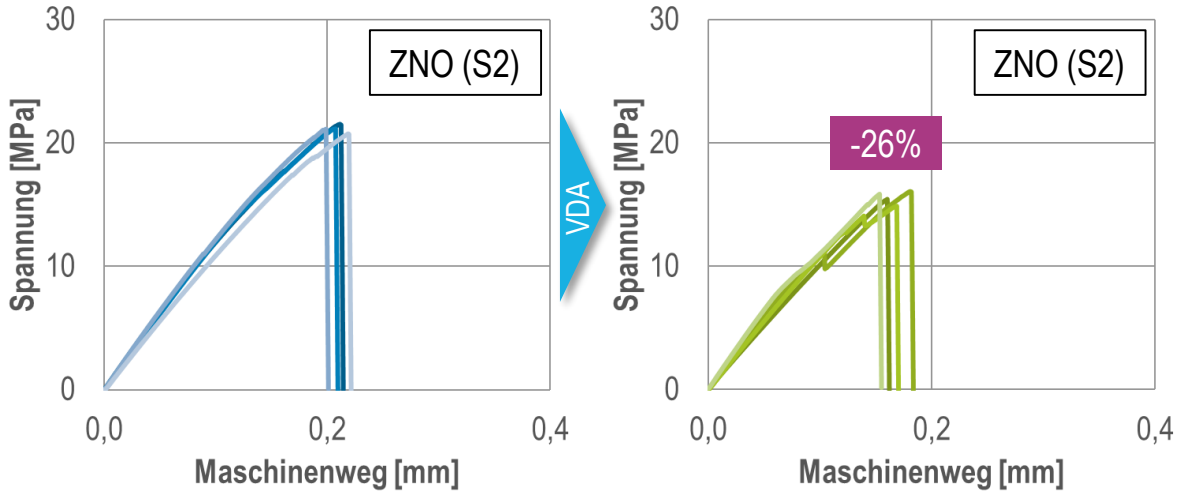


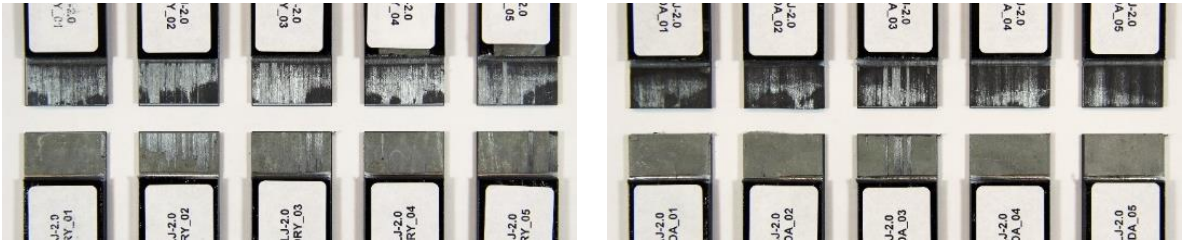


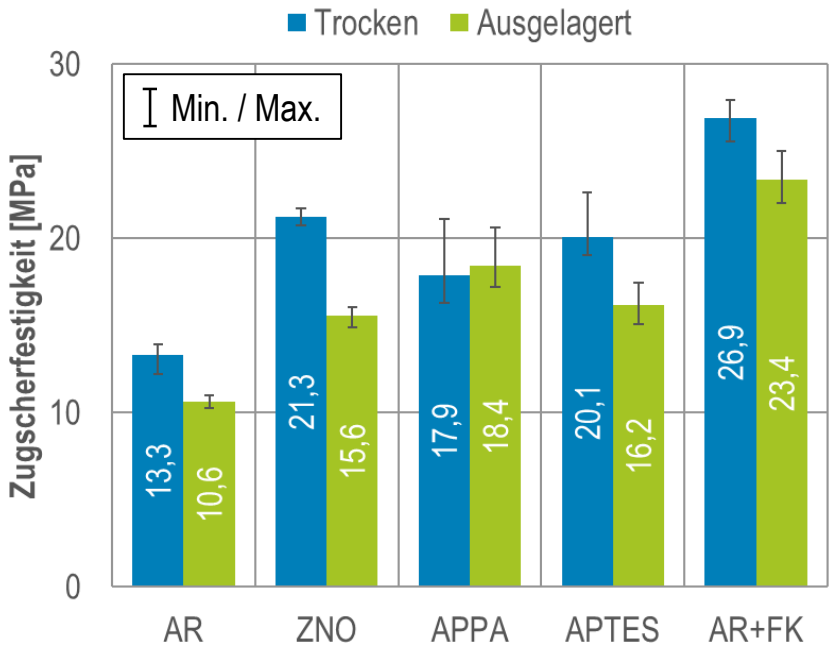
Optische Analyse des Überlappungsbereichs im Scherzugversuch

Alterungs- und Haftungsprüfungen

Ausgewählte Versuchsergebnisse







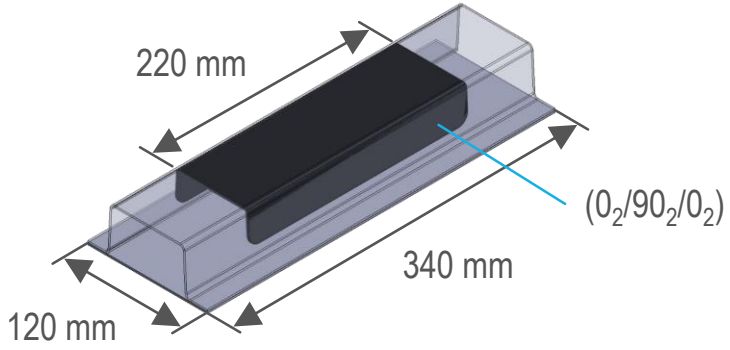
➢ Steigerung der Haftungsfestigkeit vor und nach Auslagerung im Korrosionstest gegenüber alkalisch gereinigter Variante

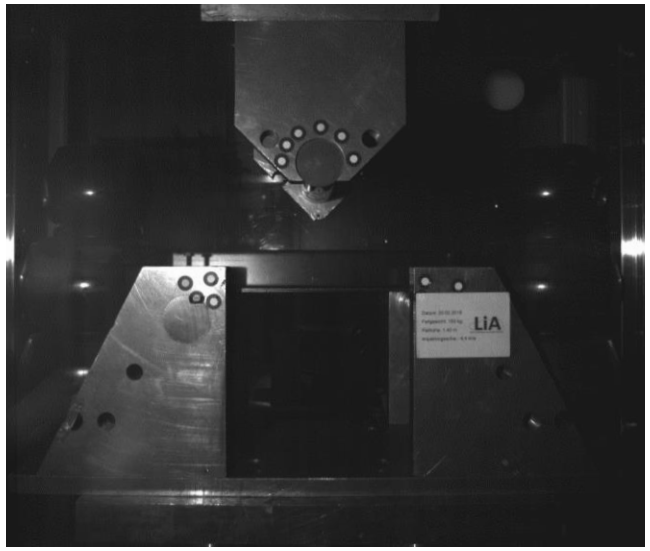
Crashprüfungen

Versuchsbedingungen und Versuchsdurchführung

- Zielsetzung: Analyse des Versagensverhaltens intrinsisch gefügter Hybridstrukturen gegenüber gewichtsäquivalenter Stahlreferenz

  - Stahlprofil: 2,0 mm
  - Hybridprofil 1: 1,8 mm (Stahl) + 1,8 mm (CFK)
  - Hybridprofil 2: 1,8 mm (Stahl) + 0,3 mm (Strukturklebstoff) + 1,5 mm (CFK)

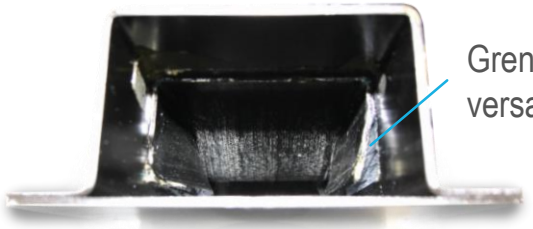




Fallhöhe: 1400 mm

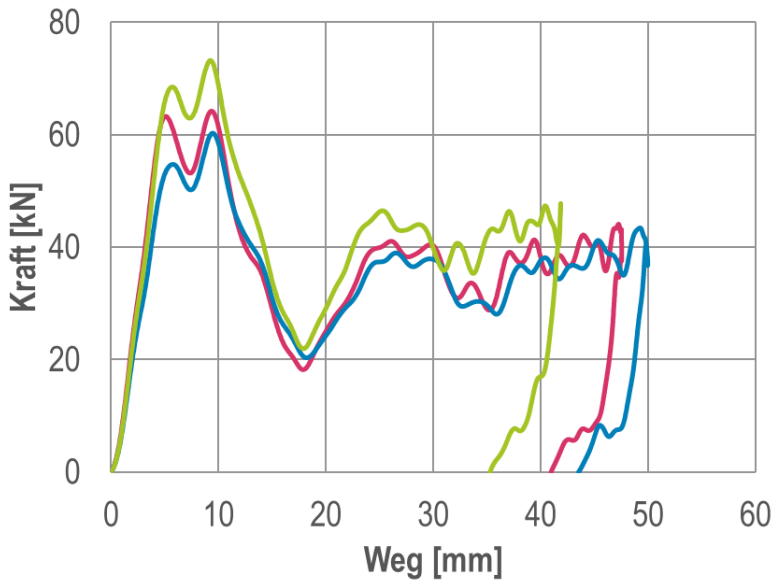
Impaktgeschwindigkeit: 4,4 m/s

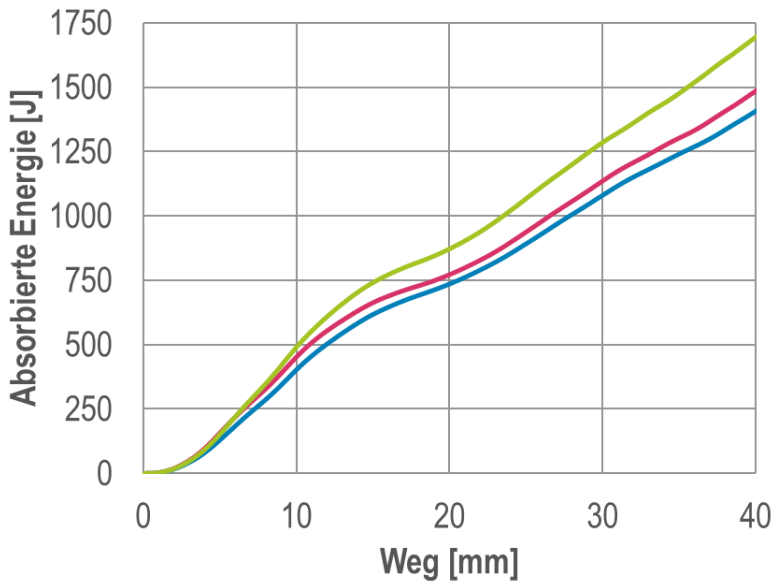
Fallmasse: 150 kg



Crashprüfungen

Versuchsergebnisse





Stahl (2,0 mm) Hybrid 1 (ZNO) Hybrid 2 (Strukturklebstoff)

	F_{max}	s_{max}
Stahl	60,4 kN	49,9 mm
Hybrid 1	64,7 kN	48,3 mm
Hybrid 2	75,0 kN	41,9 mm

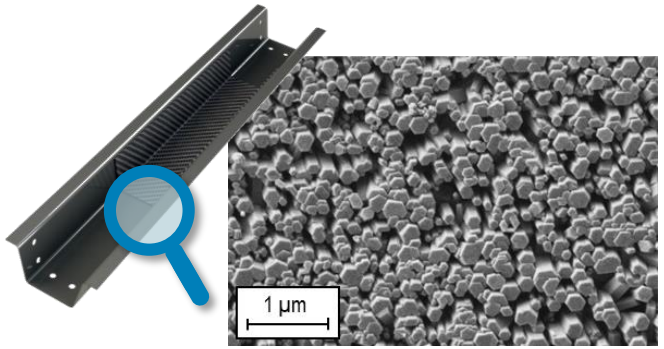
Versuchsergebnisse (Absolutwerte)

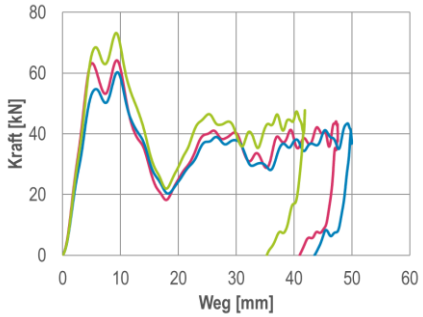
	$F_{max, norm.}$	$s_{max, norm.}$
Hybrid 1	+ 7 %	- 3 %
Hybrid 2	+ 24 %	- 16 %

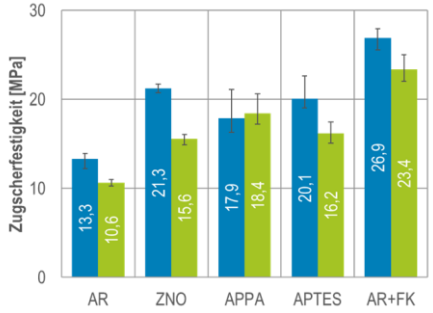
Versuchsergebnisse (Normiert zur Stahlreferenz)

Zusammenfassung

- Faser-Kunststoff-Verbunde mit hohem Potenzial für die Verstärkung von Metallstrukturen unter dem Aspekt des Leichtbaus
- Voraussetzung für den technischen Einsatz von Hybridsystemen ist die zur Funktionserfüllung hinreichende Adhäsion und Alterungsbeständigkeit zwischen den artverschiedenen Werkstoffen
- Synthese von Zinkoxid-Nanostäbchen als u.a. umweltfreundliche Möglichkeit zur Oberflächenvorbehandlung von Metallsubstraten
- Oberflächenvorbehandlung trägt zur Steigerung der Haftungsfestigkeit z.B. unter Scherzugbelastung bei
- Deutliche Steigerung des Energieabsorptionsvermögens im Crashversuch durch lokale Hybridisierung möglich







UNIVERSITÄT PADERBORN

Jan Striewe
Universität Paderborn
Fakultät für Maschinenbau
Lehrstuhl für Leichtbau im Automobil

Telefon: +49 (0) 5251/60-5948
E-Mail: jan.striewe@uni-paderborn.de
Web: http://www.leichtbau-im-automobil.de

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!