
Fraunhofer-Allianz Leichtbau

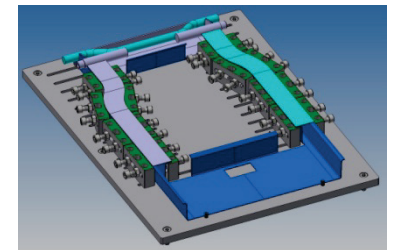
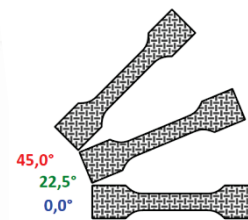
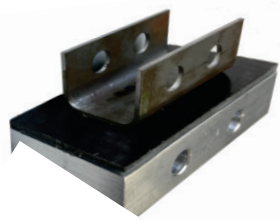
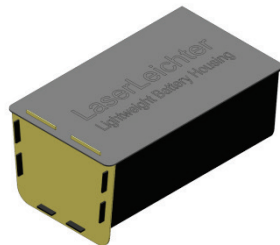
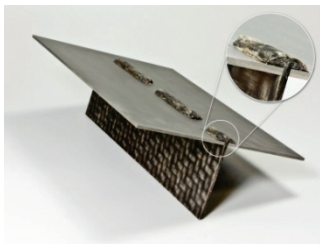
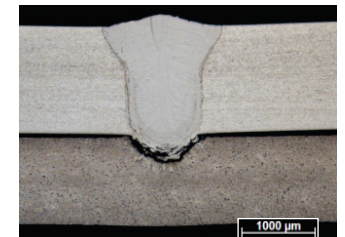
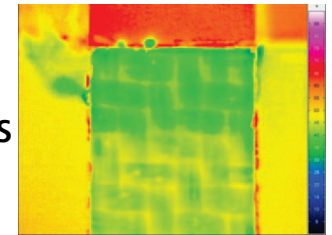
Entwicklung laserbasierter Fügetechnologien für artungleiche Leichtbaukonstruktionen – *LaserLeichter* (03/2015 – 02/2018)

Annett Klotzbach
Fraunhofer-Allianz Leichtbau
www.leichtbau.fraunhofer.de

Projekthinhalt

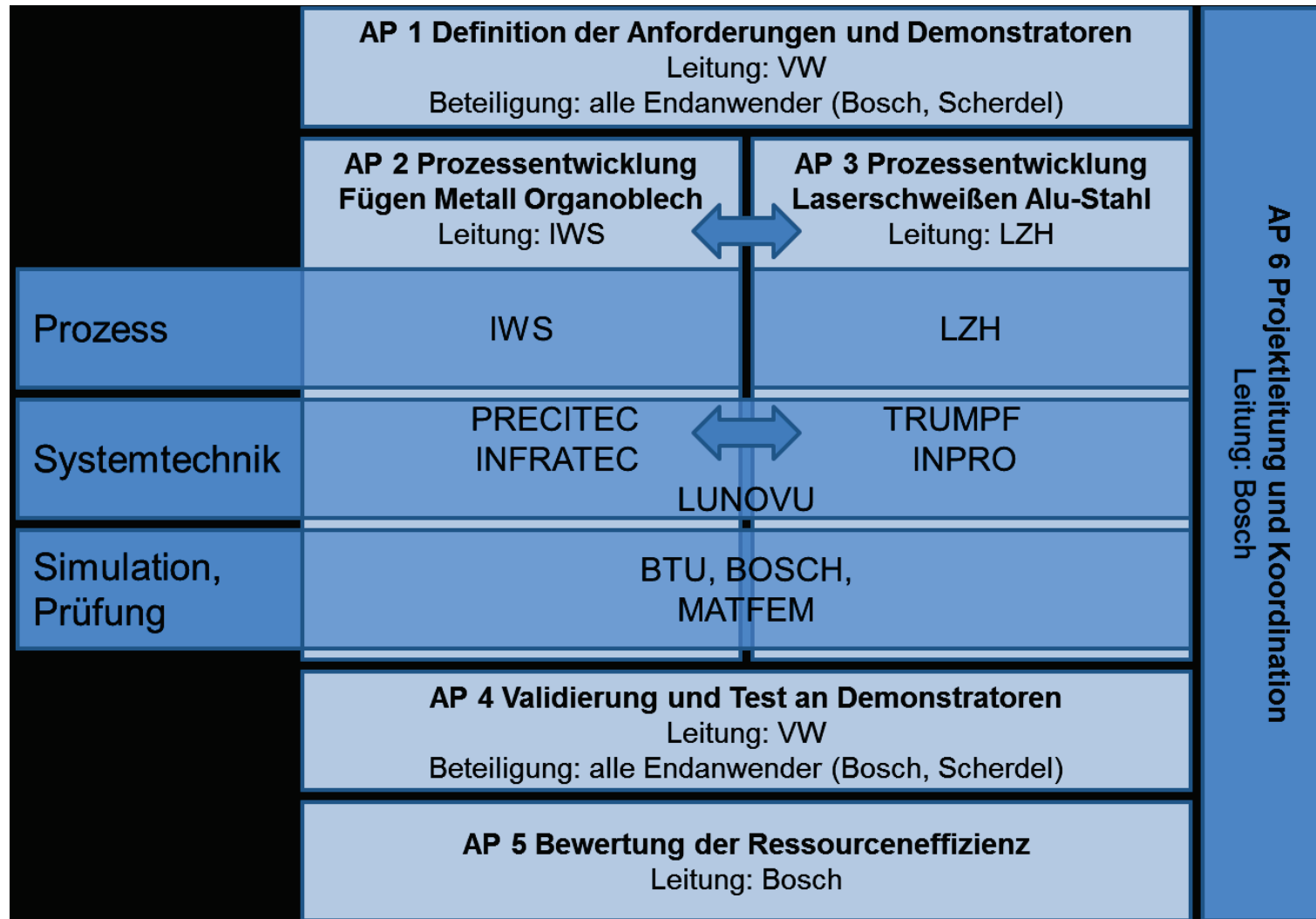
Entwicklung von laserbasierten Fügetechnologien für artungleiche Leichtbaukonstruktionen

- Laserschweißen von Stahl-Aluminium-Verbindungen
- Innovative Fügetechnologien für Metall-Kunststoff-Verbünde
- Weiterentwicklung für den Einsatz in der Großserienfertigung
- Erprobung an anspruchsvollen Demonstratoren des Automobilbaus
- Entwicklung von robusten, großserientauglichen Bearbeitungsanlagen/Werkzeugen
- Erarbeitung von Konzepten zur zerstörungsfreien Prüfung
- Auslegung und Optimierung der neuartigen Mischverbindungen mit computerbasierten Modellen



Seite 2

Projekthalt



Projekthalt

- ▶ Entwicklung der Fügetechnologien (LZH, Fraunhofer IWS)
 - Laserschweißen Stahl / Aluminium
 - Laserfügen Steg-Schlitz: Stahl / Aluminium, Metall / Organoblech
 - Thermisches Direktfügen Metall / Organoblech

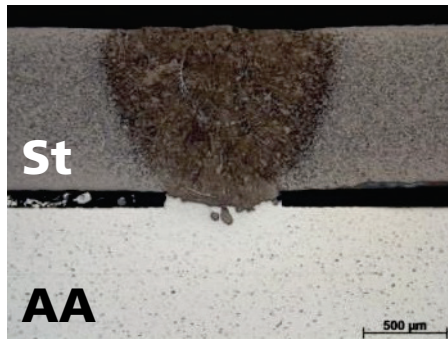
- ▶ Systemtechnik / Prüfeinrichtungen (Precitec, Infratec, Inpro)
 - Blitzthermographie, Induktionsthermographie
 - Wobble und Remote - Optiken

- ▶ Simulation (BTU Cottbus, MATFEM, Bosch, Scherdel)
 - Prozess- und Fügestellensimulation
 - Auslegung Demonstratoren

- ▶ Validierung und Test von Demonstratoren (LUNOVU)
 - VW, Bosch, Scherdel

Prozessentwicklung Laserstrahlschweißen Aluminium-Stahl (LZH)

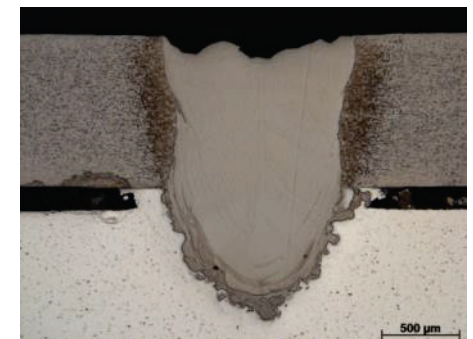
- ▶ stahlseitige Schweißuntersuchungen: metallographische Analysen
- ▶ Einfluss Streckenenergie (HX220LAD+Z100 [1,00 mm] / AA6016-T4 [1,15 mm])



▶ 31,25 kJ/m



▶ 34,09 kJ/m



▶ 37,50 kJ/m

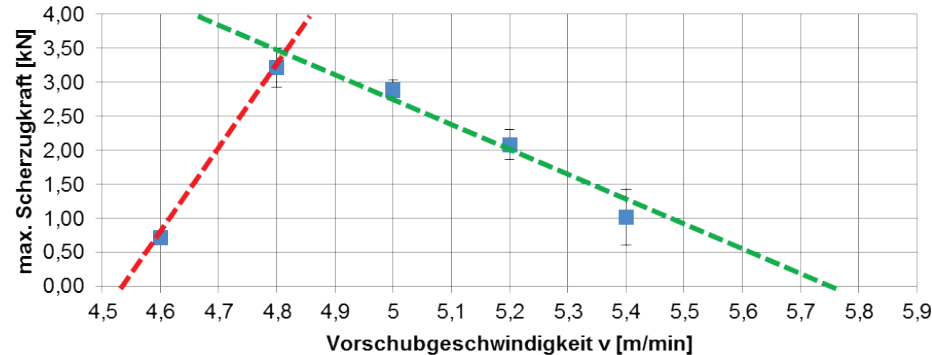
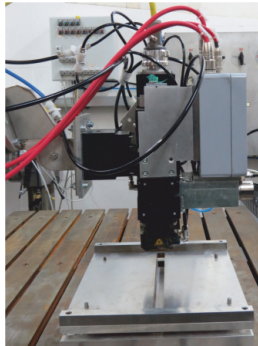
- ▶ Streckenenergie $\uparrow$
 - Einschweißtiefe $t_E \uparrow$
 - Anbindungsbreite $b \uparrow$
- Durchmischungsverhältnis $\uparrow$
- Bildung intermetallischer Phasen (IMP) $\uparrow$

Prozessentwicklung Laserstrahlschweißen Aluminium-Stahl (LZH)

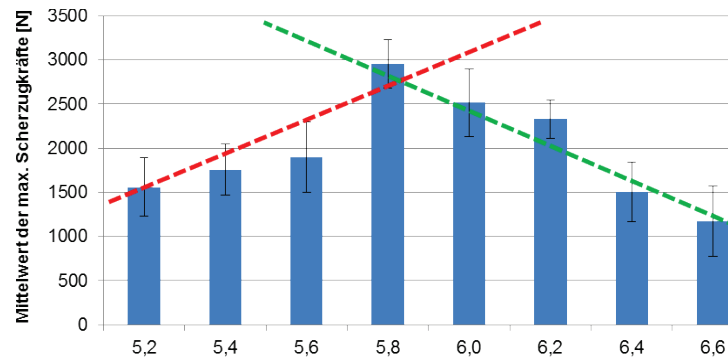
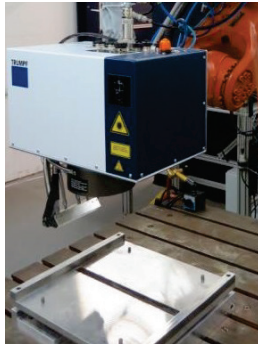
▶ stahlseitige Schweißuntersuchungen:

Versuchsaufbau + Prozessübertragbarkeit

▶ starre Optik



▶ PFO3D-2 PO



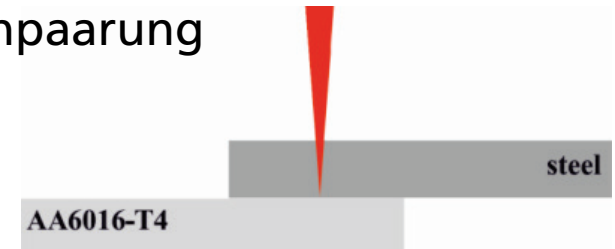
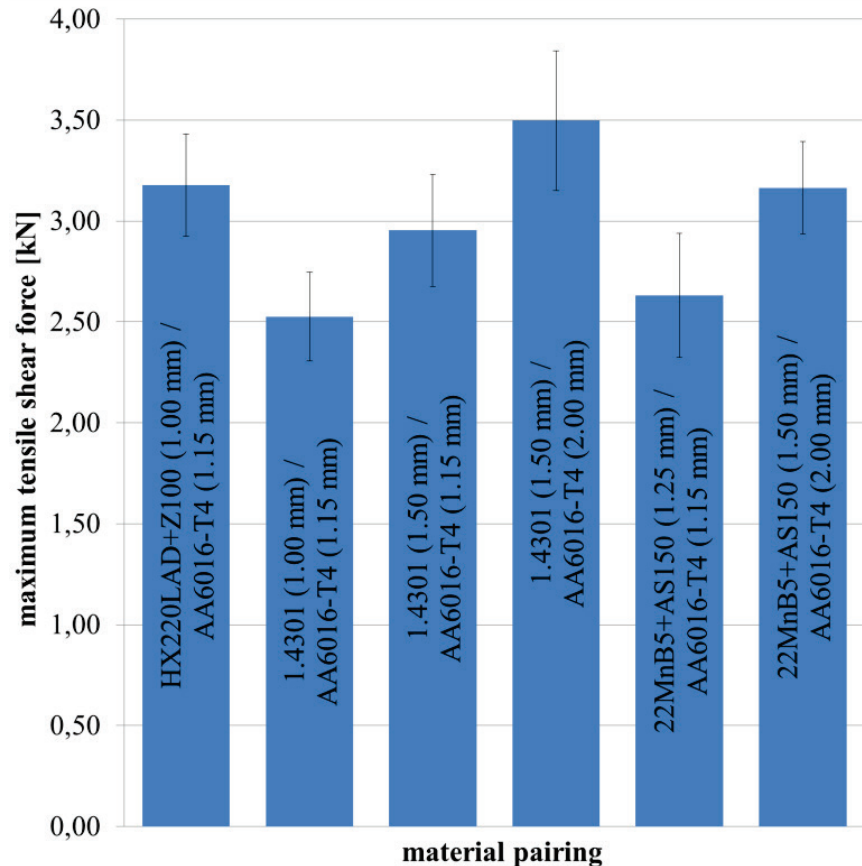
▶ Festigkeitsoptimum vorhanden → Scherzugkräfte von ca. 3 kN

▶ prinzipielle Übertragbarkeit des Schweißprozesses von starrer Optik auf PFO3D-2 PO

Seite 6

Prozessentwicklung Laserstrahlschweißen Aluminium-Stahl (LZH)

- ▶ stahlseitige Schweißuntersuchungen: Scherzuguntersuchungen
- ▶ Einfluss Werkstoffkombination bzw. Blechdickenpaarung



- ▶ max. Scherzugkräfte: 2,5 bis 3,5 kN
 - Unterschiede hinsichtlich Streckenenergie (28,85 bis 43,27 kJ/m) [für Festigkeitsoptimum]
 - unterschiedliche Stahlwerkstoffe
 - unterschiedliche Blechdickenverhältnisse

Prozessentwicklung Laserstrahlschweißen Aluminium-Stahl (LZH)

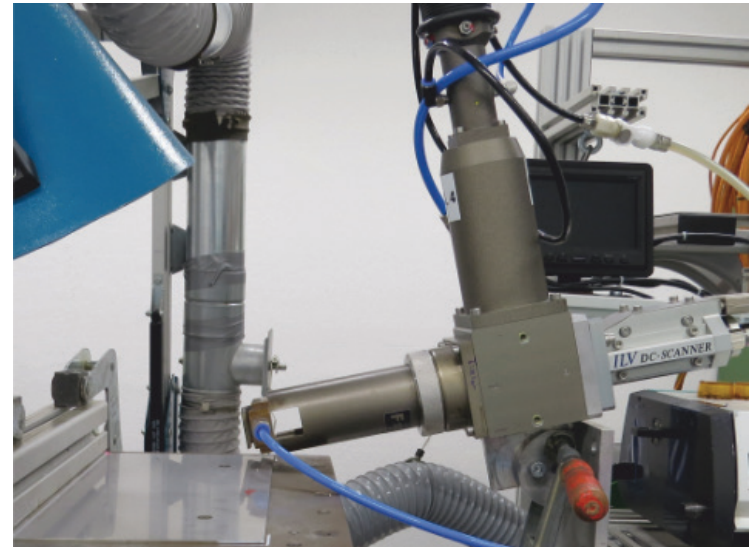
- ▶ aluminiumseitige Schweißuntersuchungen: Motivation + Versuchsaufbau

Anwendungsziel (aluminiumseitige Einstrahlung)

- ▶ Ersetzen Stahl-Außenhaut durch Aluminium-Außenhaut (B-Säulenbereich Pkw-Seitenwand)

Lösungsansatz

- ▶ Begrenzung Durchmischungsverhältnis (Bildung von IMP)
 - Kehlnaht als Nahtart
 - Umsetzung mittels Laserstrahlschweißen
 - kontrollierte Aufschmelzung (Energieeinbringung) möglich



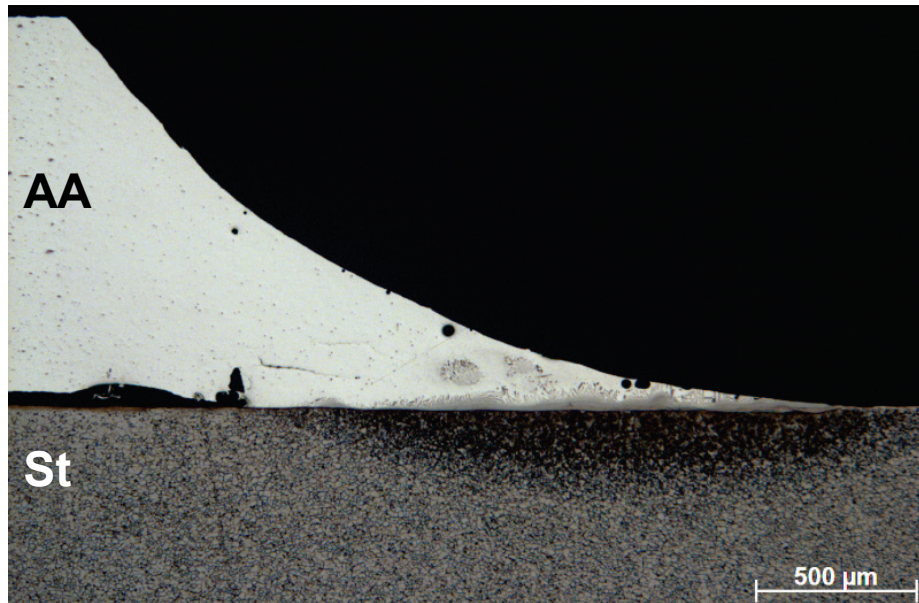
Voraussetzungen (für Kehlnähte)

- ▶ relativ flache Einstrahlungswinkel



Prozessentwicklung Laserstrahlschweißen Aluminium-Stahl (LZH)

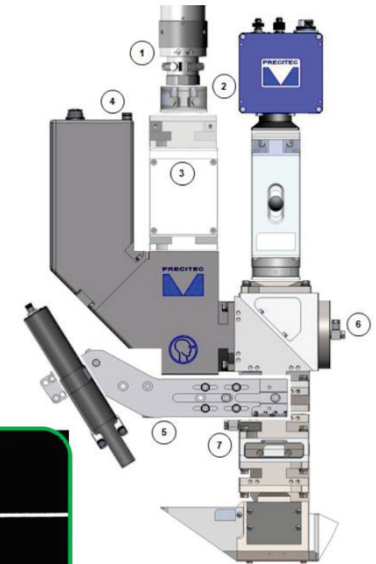
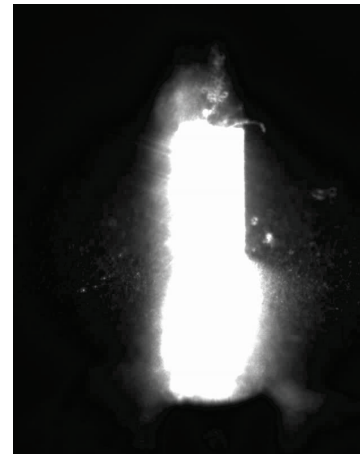
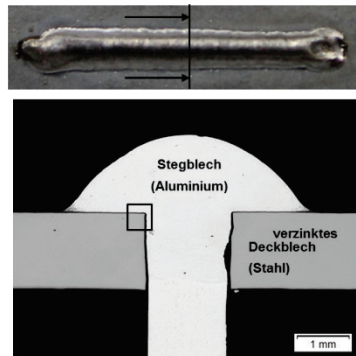
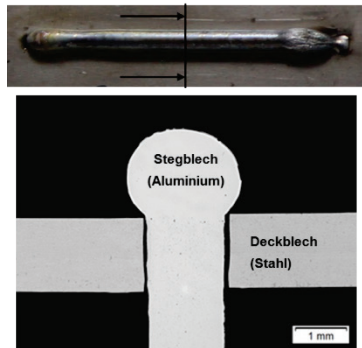
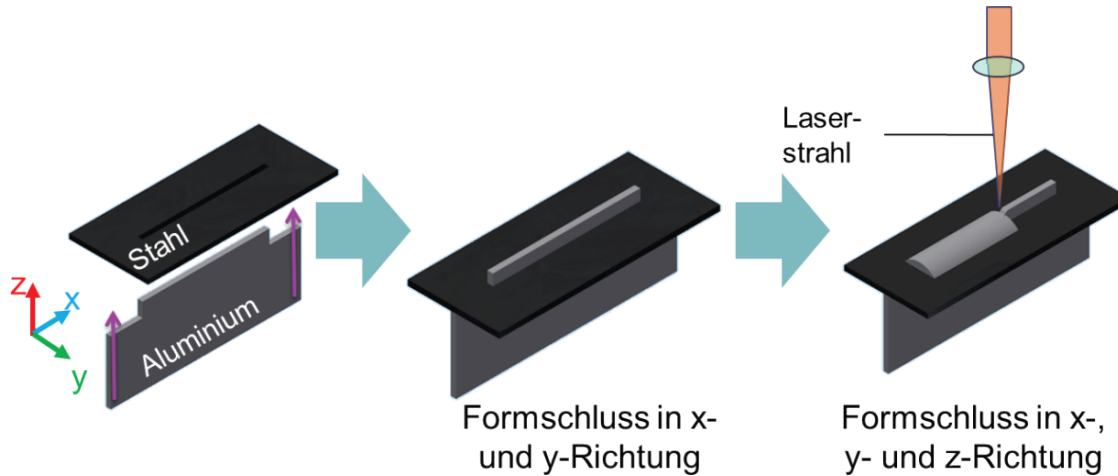
- ▶ aluminiumseitige Schweißuntersuchungen:
metallographische Analysen + Scherzuguntersuchungen
- ▶ AA6016-T4 [1,15 mm] / HX220LAD+Z100 [1,00 mm]



▶ 56,25 kJ/m

- ▶ rel. hohe Schweißgeschwindigkeiten
(für aluminiumseitige Einstrahlung)
möglich [hier: 4 m/min]
- ▶ Anbindungsbreite: ca. 1,5 mm
→ IMP im SG vorrangig im Kontakt-
bereich zwischen Fügepartnern
(Bereich der Lasereinstrahlung)
- ▶ max. Scherzugkräfte: ca. 2,9 kN
(Nahtlänge = 22,5 mm)
→ erzielte Scherzugkräfte sogar mit
Festigkeiten stahlseitig
geschweißter Verbindungen
vergleichbar

Prozessentwicklung Steg-Schlitz-Fügen Stahl/Aluminium (Fraunhofer IWS)

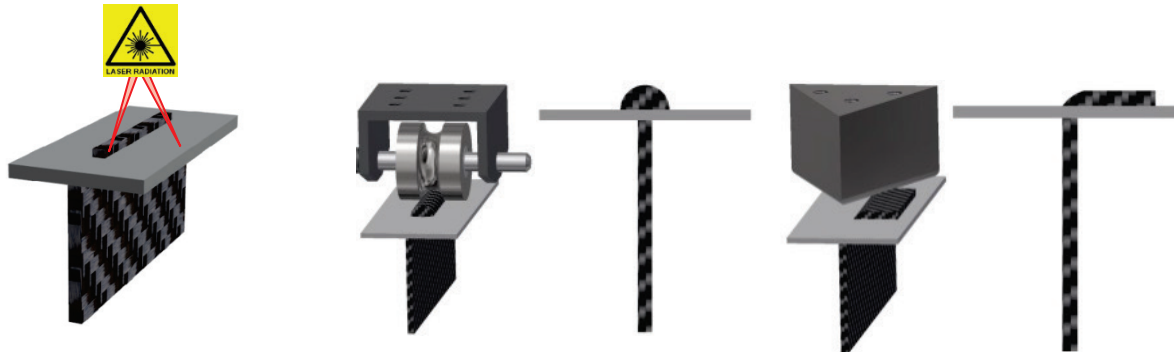


Prozesstechnik:
Scantracker & Weldmaster
(Precitec)

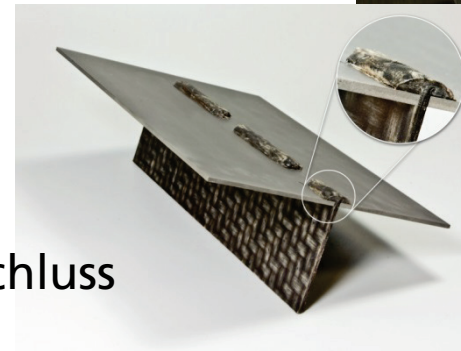
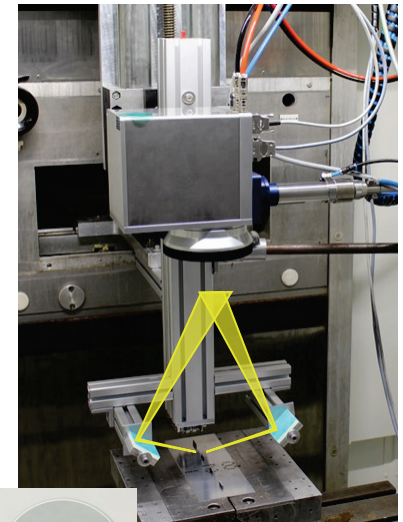
Beispiele:
Nahtausbildung zum Fügen für Steg/Schlitz

Prozessentwicklung Steg-Schlitz-Fügen Metall/Organoblech (Fraunhofer IWS)

Thermisches Fügen von Metall und GF-PA6 in Steg-Schlitz - Konfiguration



- ▶ Beidseitige Erwärmung des Organobleches mittels Laser
- ▶ Nachträgliche Umformung über Rollen, Keile, ...
- ▶ Oberflächenvorbehandlung des Metalls



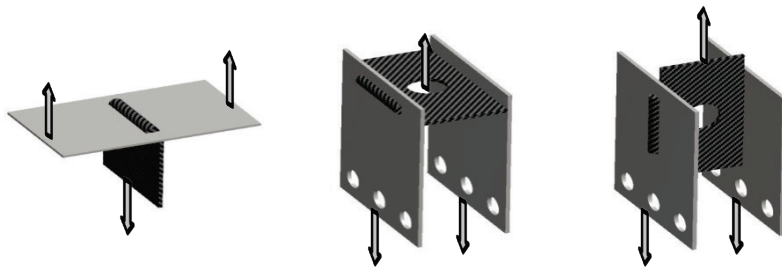
Ziel:

- ▶ Überlagerung von Formschluss und Stoffschluss

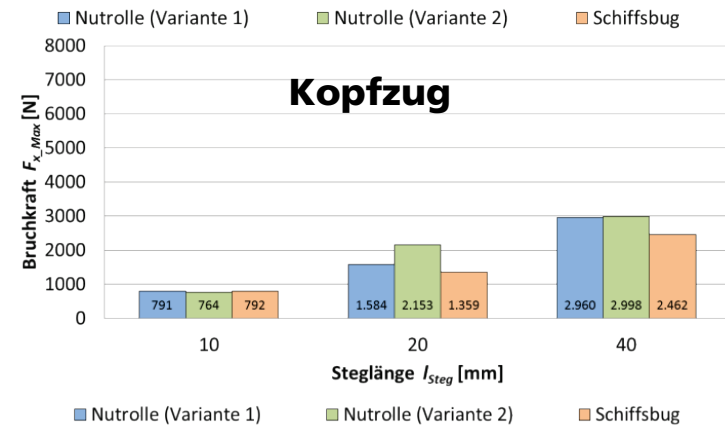
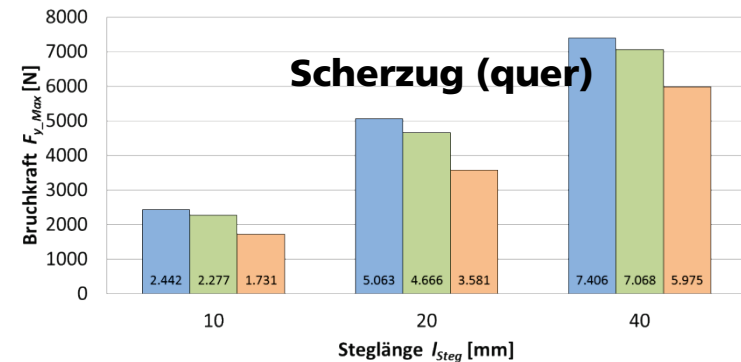
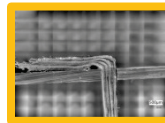
Prozessentwicklung Steg-Schlitz-Fügen Metall/Organoblech (Fraunhofer IWS)

Übertragungsfestigkeit in Abhängigkeit der Beanspruchungsrichtung

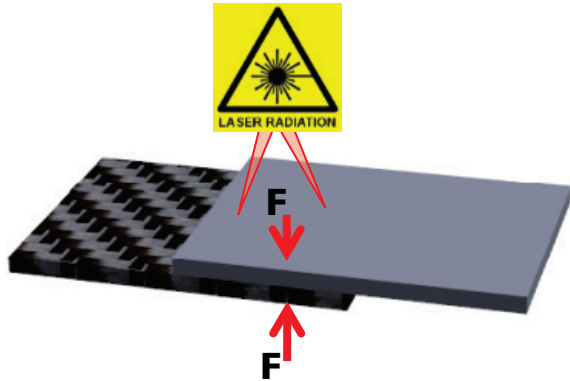
Prüfgeometrien (Kopfzug, Scherzug (quer, längs))



- ▶ Übertragungsfestigkeit abhängig von Steglänge, Belastungsart und Vorbehandlung
 - Eingangsgrößen für Fügstellensimulation bereitgestellt

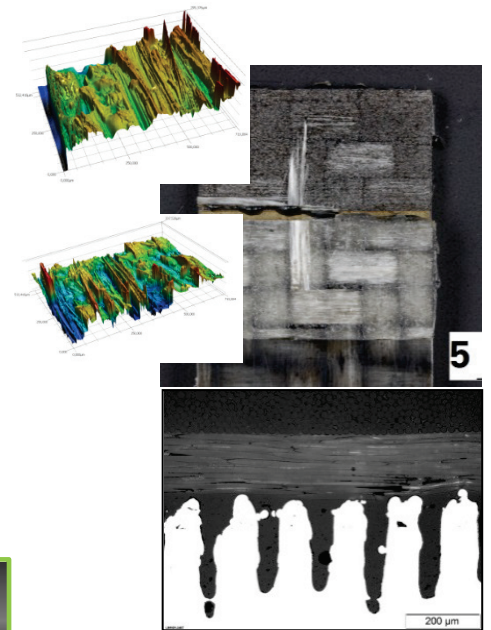
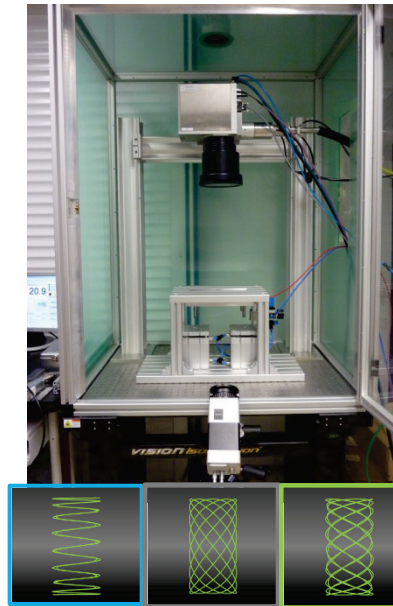


Prozessentwicklung Thermisches Direktfügen Metall/Organoblech (Fraunhofer IWS)



Material:

- ▶ Metall (1,5 mm): E355, AW6082, 1.4301
- ▶ FKV (2 mm): Tepex®dynamite



Kohäsionsbruch im FKV

Verfahrenscharakteristik:

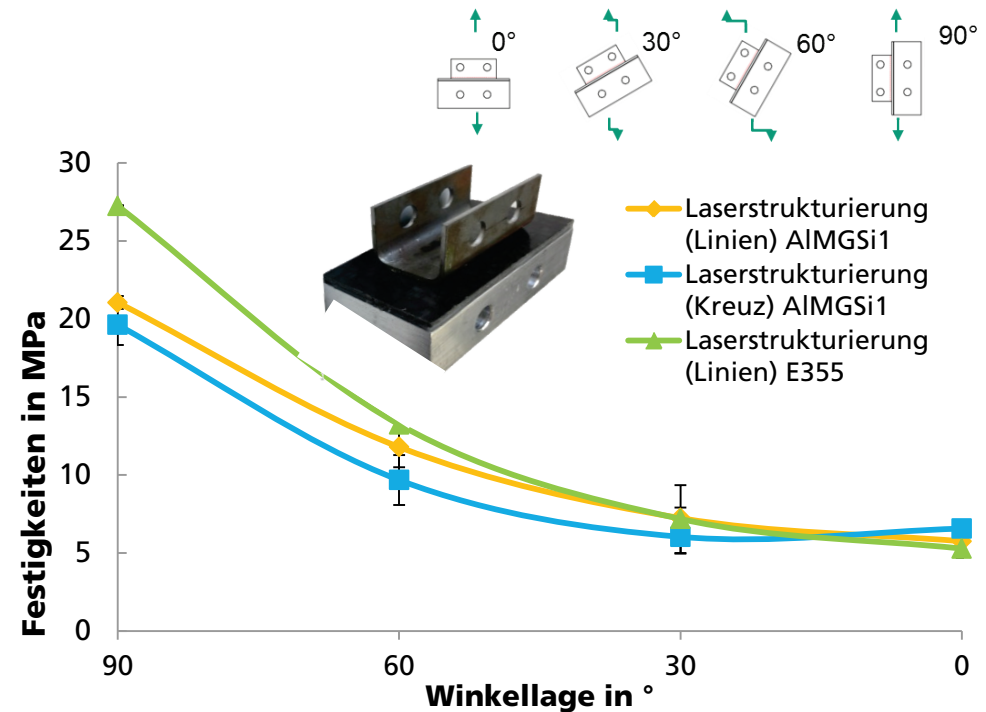
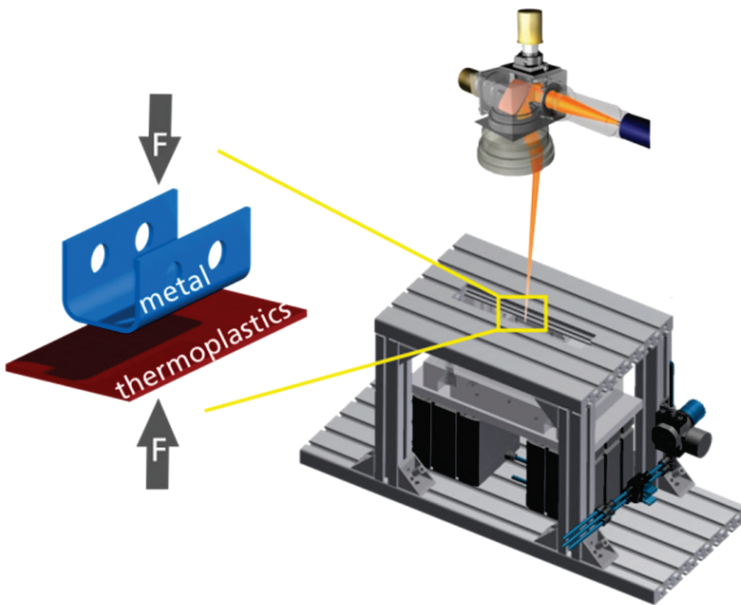
- ▶ Angepasste Laserstrukturierung
- ▶ Lasererwärmung durch Strahloszillation

Fügezeit: kleiner 4 Sekunden!!!

Seite 13

Prozessentwicklung Thermisches Direktfügen Metall/Organoblech (Fraunhofer IWS)

Übertragungsfestigkeit in Abhängigkeit der Beanspruchungsrichtung



- Übertragungsfestigkeit abhängig von Vorbehandlung, Art des Metalls und Belastungsfall
- Eingangsgrößen für Fügestellensimulation bereitgestellt

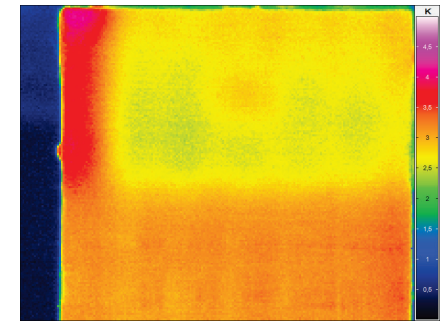
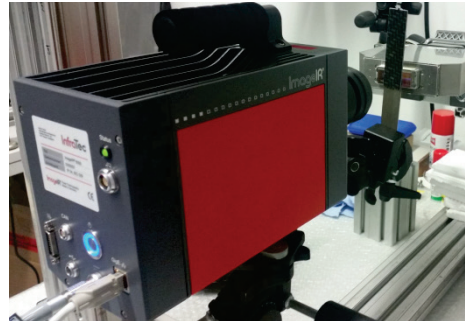
Projekthalt

- ▶ Entwicklung der Fügetechnologien (LZH, Fraunhofer IWS)
 - Laserschweißen Stahl/Aluminium
 - Laserfügen Steg/Schlitz: Stahl / Aluminium, Metall / Organoblech
 - Thermisches Direktfügen Metall/Organoblech
- ▶ Systemtechnik / Prüfeinrichtungen (Precitec, Infratec, Inpro)
 - Blitzthermographie, Induktionsthermographie
 - Wobble und Remote - Optiken
- ▶ Simulation (BTU Cottbus, MATFEM, Bosch, Scherdel)
 - Prozess- und Fügestellensimulation
 - Auslegung Demonstratoren
- ▶ Validierung und Test von Demonstratoren
 - VW, Bosch, Scherdel

Zerstörungsfreie Prüfung

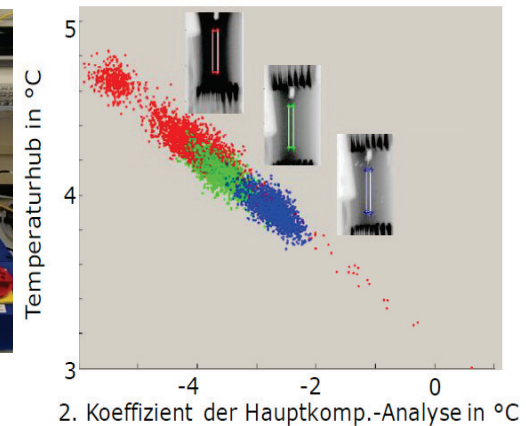
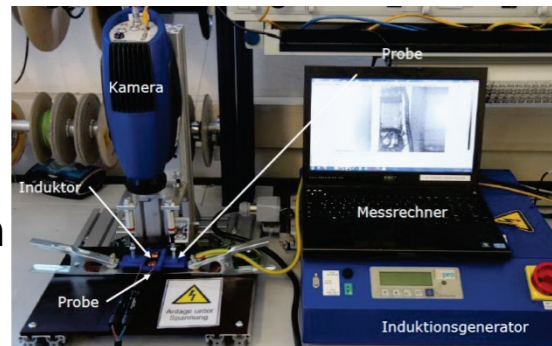
Impuls – Thermographie:

- ▶ Ausnutzung der durch Fehlstellen bedingten Änderung der Wärmeleitung



Induktionsthermographie:

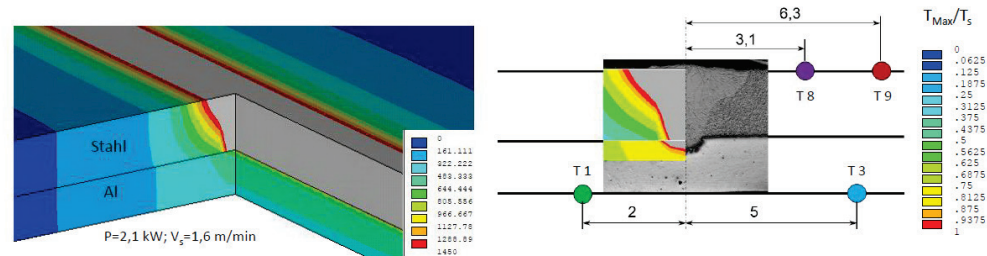
- ▶ Ausnutzung der unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften von Stahl und Aluminium



Prozess- und Fügestellensimulation

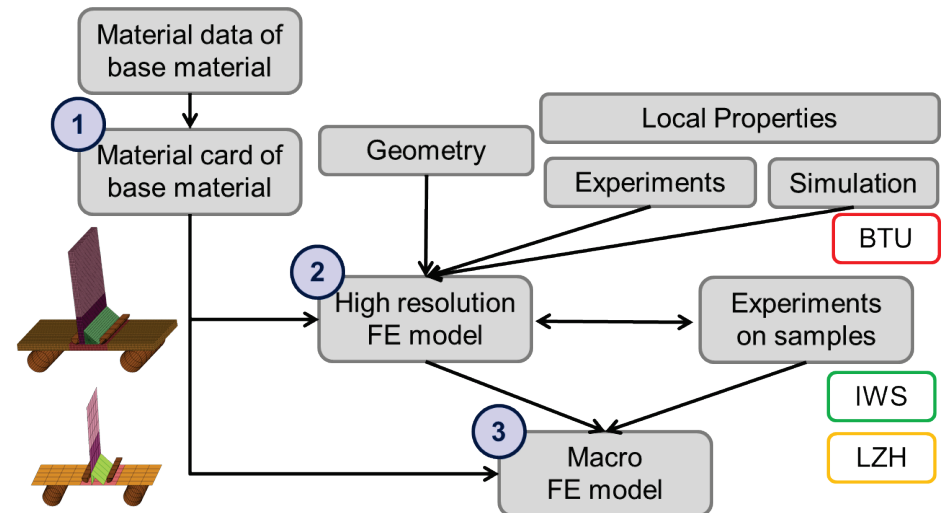
Schweißprozess-Simulation

- ▶ Modellierung der metallische Mischverbindung
- ▶ Thermomechanische Simulation des Schweißprozesses



Ersatzmodelle für Mischverbindungen

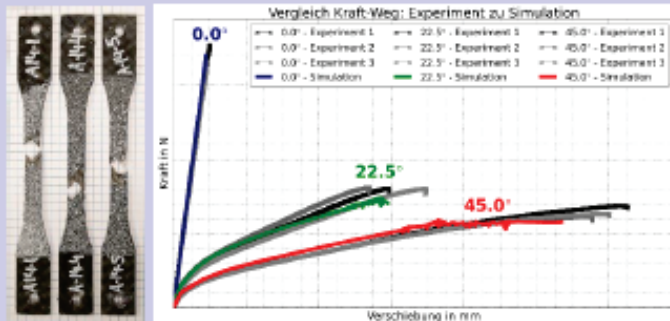
- ▶ Charakterisierung Grundwerkstoffe und Verbindungen
- ▶ Erstellung hochaufgelöster FEM-Modelle mit lokalen Eigenschaftsgradienten
- ▶ Ableitung von FE-Makromodellen



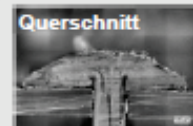


Entwicklung von Ersatzmodellen für laserstrahlgeschweißte, hybride Materialpaarungen für die Crashsimulation

Charakterisierung der Grundmaterialien



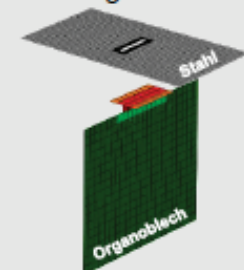
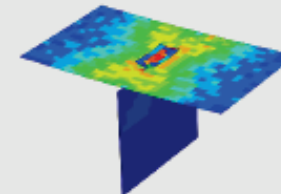
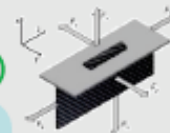
Voraussetzung für die Simulation der Verbindungen ist eine akkurate, phänomenologische Beschreibung der Grundwerkstoffe Aluminium, Stahl und Organoblech mit dem User-Materialmodell MGenYld+CrashFEM auf makroskopischer Ebene.



Entwicklung von Ersatzmodellen

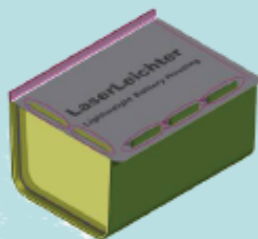
Lastfälle der Steg-Schlitz-Verbindung

- Kopfbzug
- Scherzug längs
- Scherzug quer

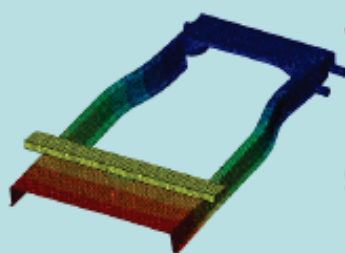


Explosionsansicht
Ersatzmodell

Validierung auf Bauteilebene



Batteriezellmodul
von Robert Bosch GmbH



Mittelarmlehne
von Scherdel



B-Säule
von VW

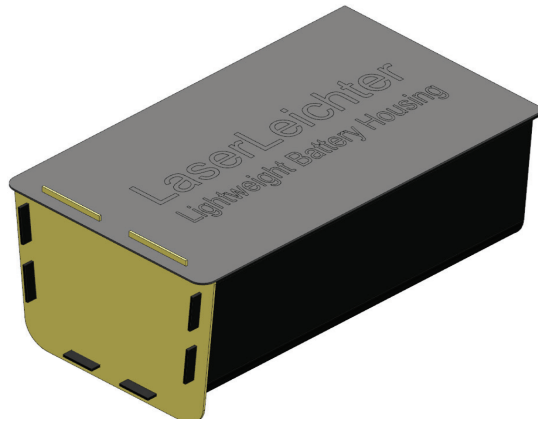
Experimentelle Daten der Verbindungstechnik und virtuelle Versuche auf Basis eines Detailmodells dienen der Herleitung eines Ersatzmodells, welches Steifigkeit und Versagensverhalten in einer Crashsimulation unter industriellen Rahmenbedingungen abbildet.

Projekthinhalt

- ▶ Entwicklung der Fügetechnologien (LZH, Fraunhofer IWS)
 - Laserschweißen Stahl/Aluminium
 - Laserfügen Steg/Schlitz: Stahl / Aluminium, Metall / Organoblech
 - Thermisches Direktfügen Metall/Organoblech
- ▶ Systemtechnik / Prüfeinrichtungen (Precitec, Infratec, Inpro)
 - Blitzthermographie, Induktionsthermographie
 - Wobble und Remote - Optiken
- ▶ Simulation (BTU Cottbus, MATFEM, Bosch, Scherdel)
 - Prozess- und Fügestellensimulation
 - Auslegung Demonstratoren
- ▶ Validierung und Test von Demonstratoren
 - VW, Bosch, Scherdel

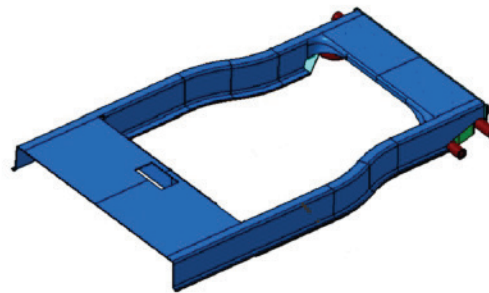
Validierung und Test von Demonstratoren

Robert Bosch GmbH



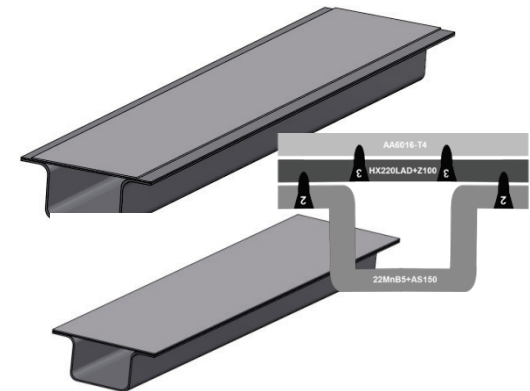
Batteriezellmodul
(1.4301, AA6082,
GF-PA6)

Scherdel, Marienberg



Mittelarmlehne DC
(E355, GF-PA6)

VW AG

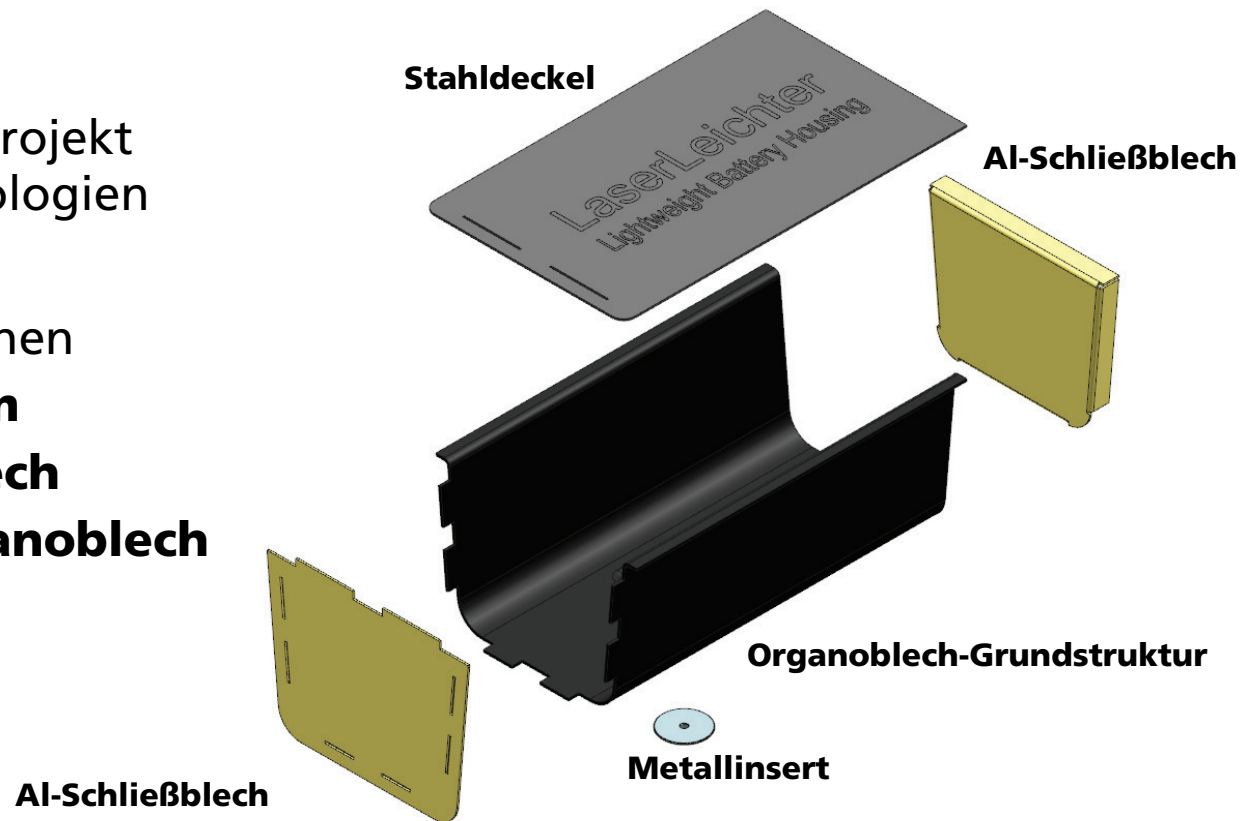


Hutprofil mit
Schließ- und Deckblech

Herausforderung:
Einbindung der entwickelten Technologien

Batteriemodulgehäuse als Technologiedemonstrator

- ▶ Abbildung aller im Projekt entwickelten Technologien
- ▶ Materialkombinationen
 - **Stahl/Aluminium**
 - **Stahl/Organoblech**
 - **Aluminium/Organoblech**



Organoblech TEPEX Dynalite 102-RG600

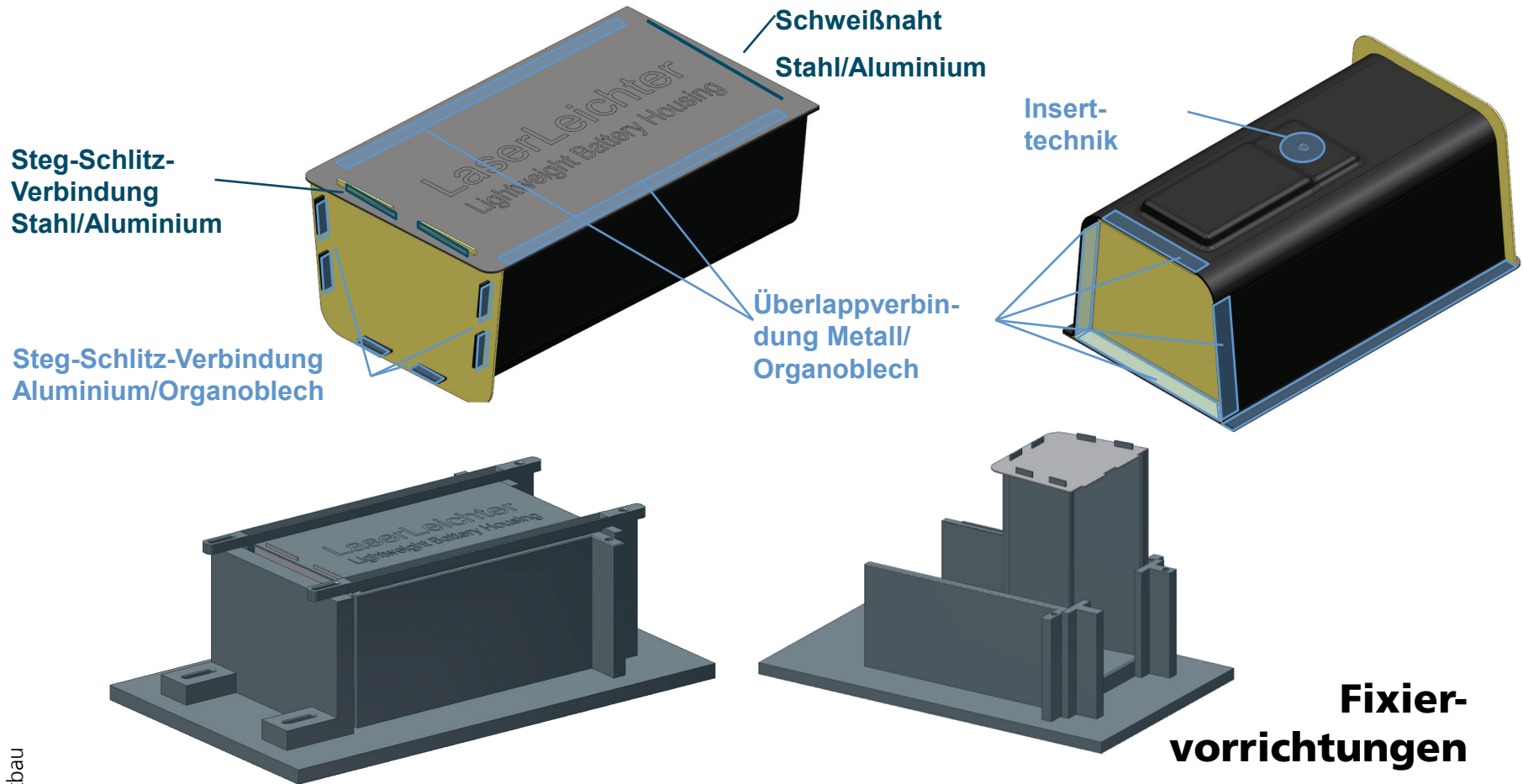


Aluminium 6082



Stahl 1.4301

Batteriemodulgehäuse als Technologiedemonstrator



■ Organoblech TEPEX Dynalite 102-RG600

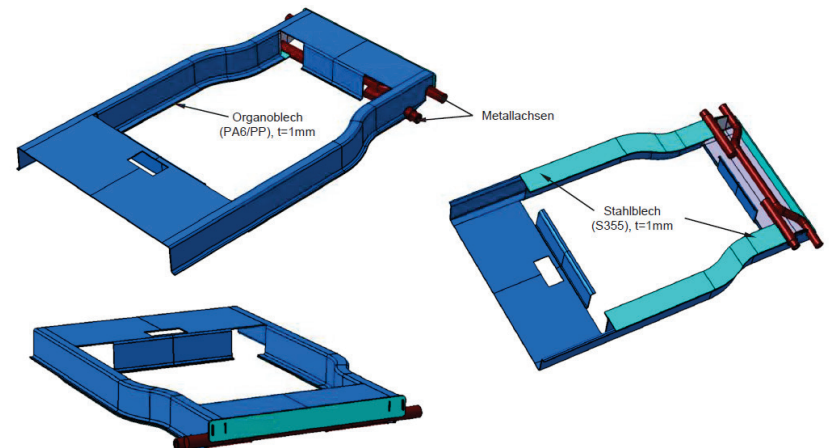
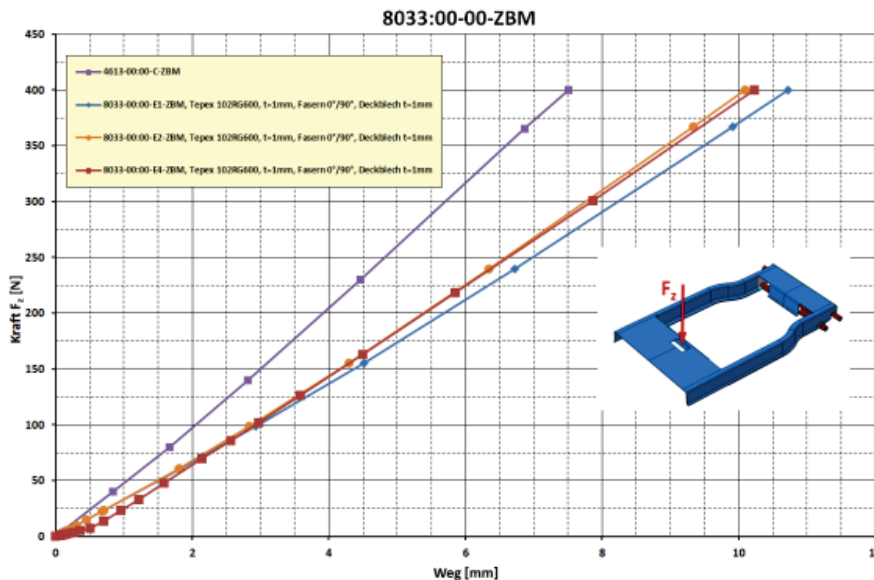
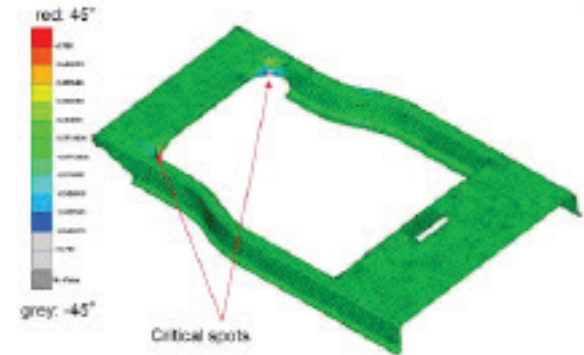
■ Aluminium 6082

■ Stahl 1.4301

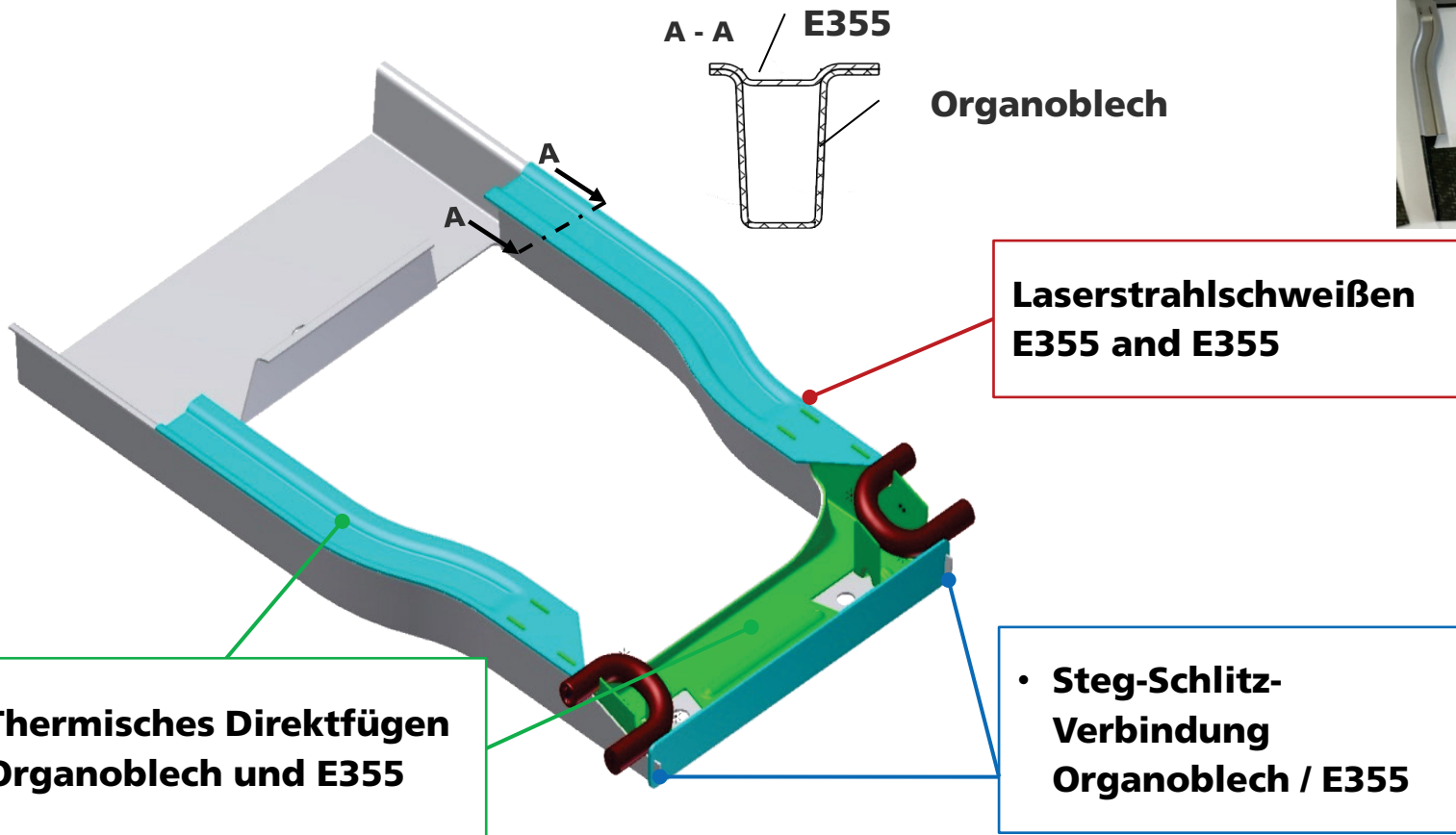
Seite 22

Mittelarmlehne als Anwendungsdemonstrator

- ▶ Integration Steg-Schlitz und Überlappverbindung
- ▶ Simulation Belastungsverhalten
 - Materialkarten Organoblech (MATFEM)
 - Ansatz geschlossene Strukturen



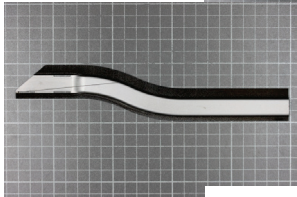
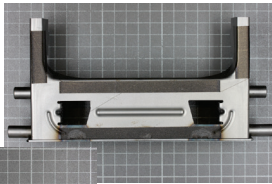
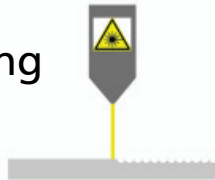
Mittelarmlehne als Anwendungsdemonstrator



Mittelarmlehne als Anwendungsdemonstrator

Einzelprozesse für das thermische Direktfügen

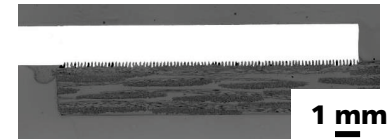
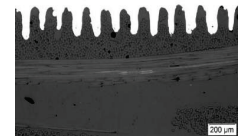
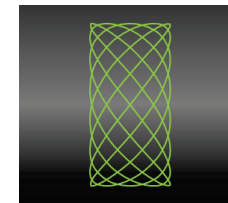
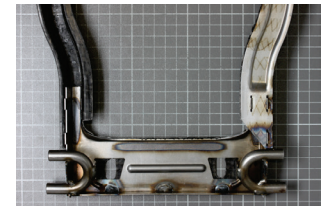
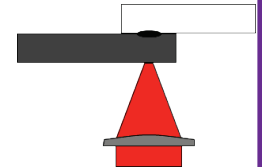
Oberflächen-
Vorbehandlung



Einlegen in Werkzeug



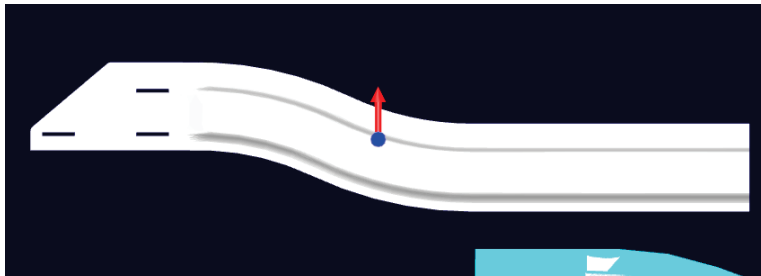
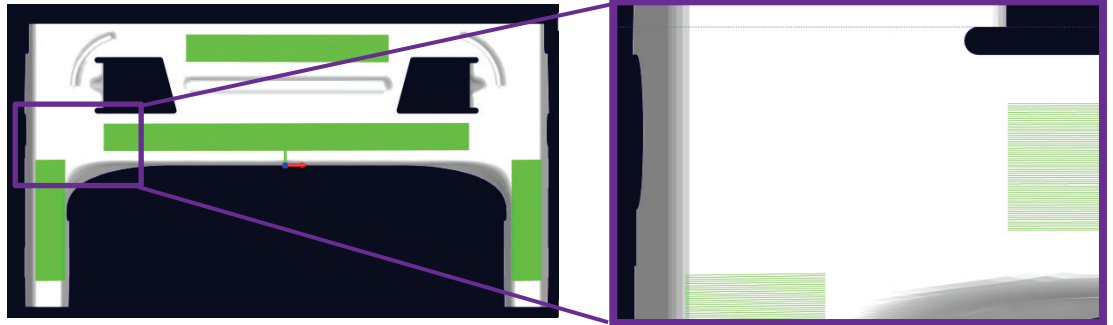
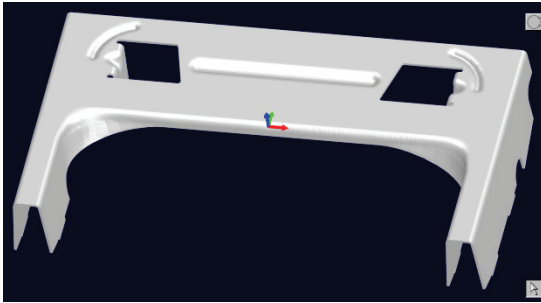
Thermisches
Fügen



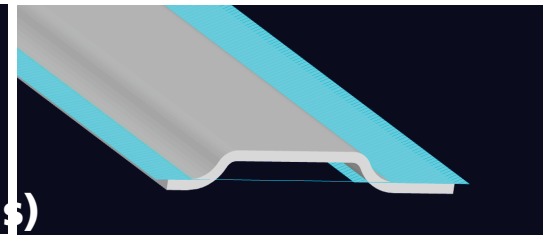
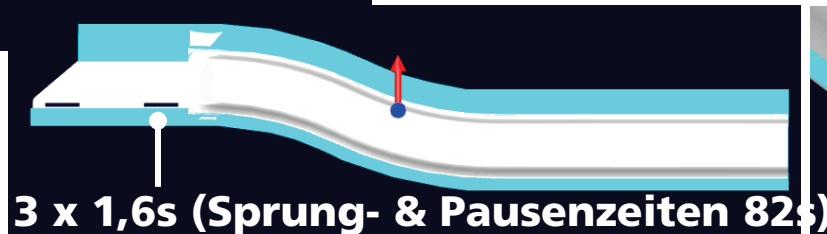
Seite 25

Mittelarmlehne als Anwendungsdemonstrator

Oberflächenvorbehandlung: Laserstrukturierung



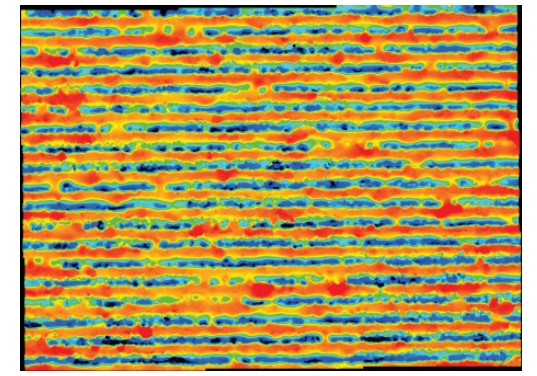
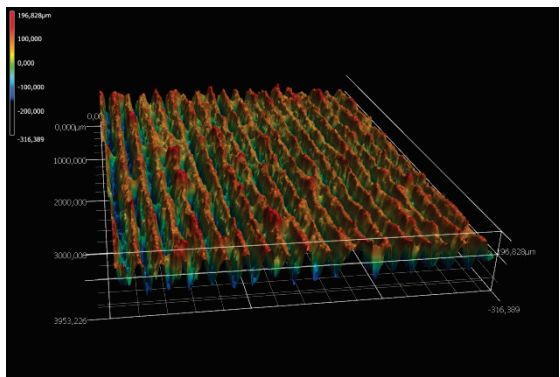
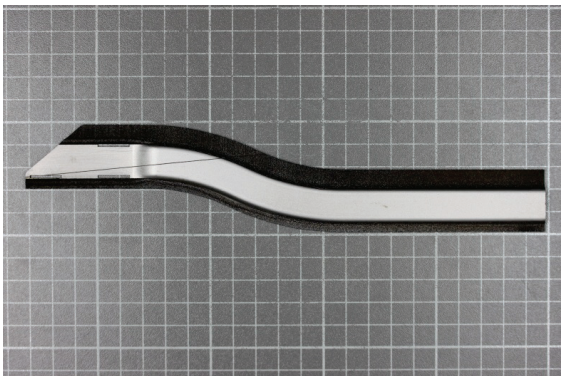
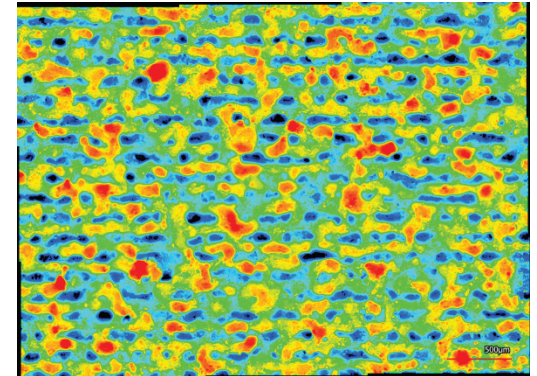
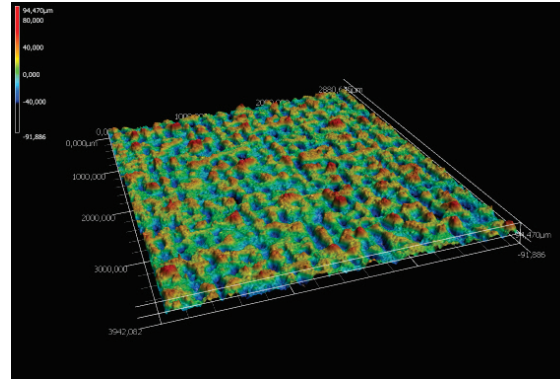
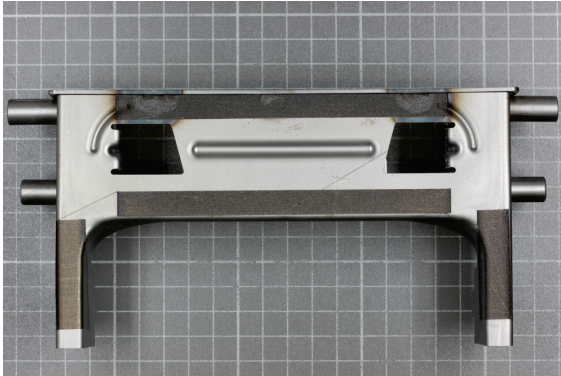
Laserleistung: 1,5 kW
Scanngeschwindigkeit: 5 m/s
Strukturabstand: 125 μm
Zyklenzahl: 3



Seite 26

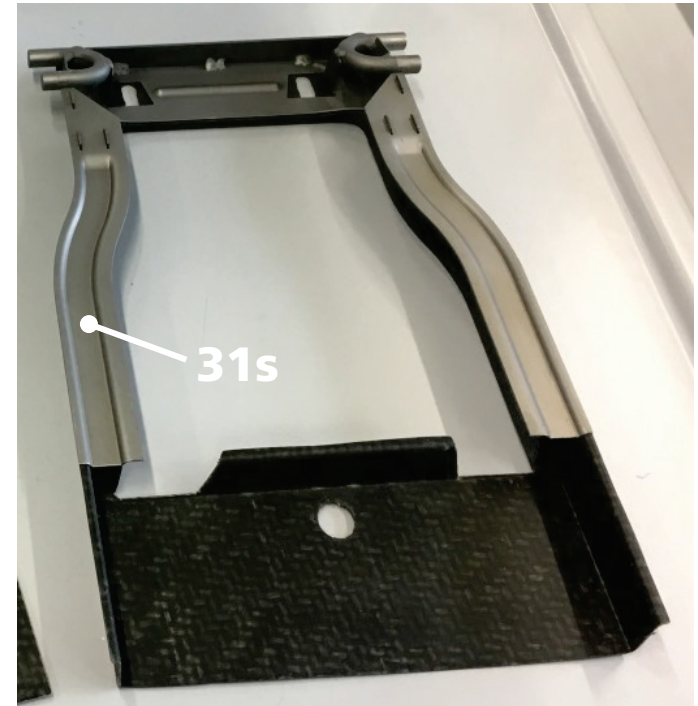
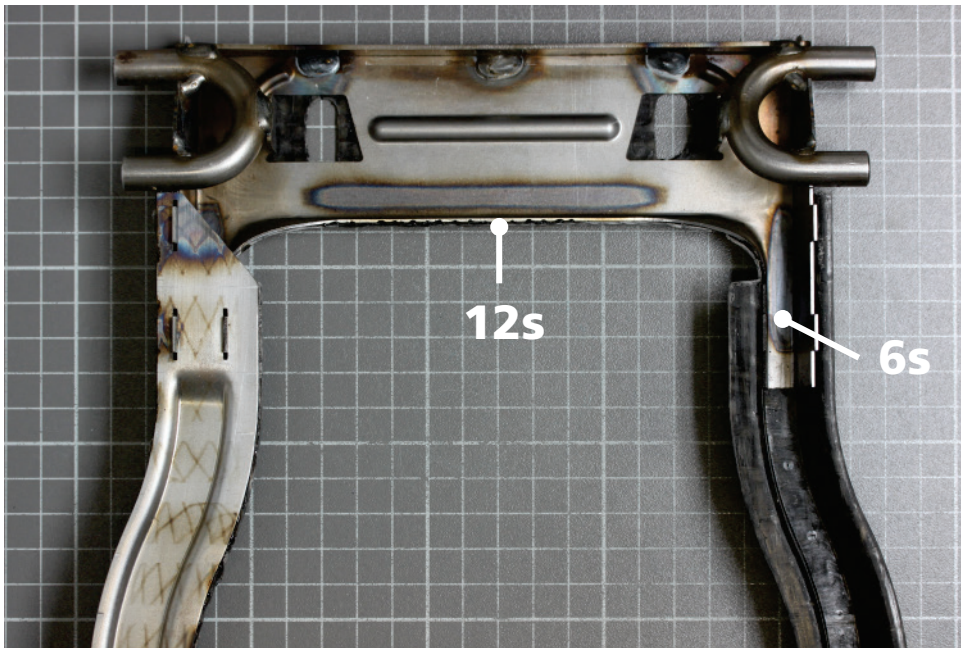
Mittelarmlehne als Anwendungsdemonstrator

Oberflächenvorbehandlung: Laserstrukturierung



Mittelarmlehne als Anwendungsdemonstrator

Laserinduziertes thermisches Direktfügen

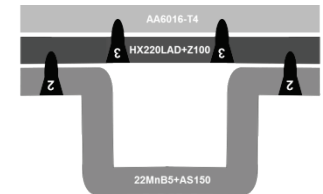
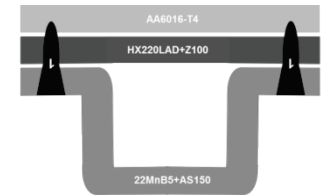
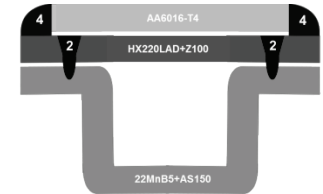
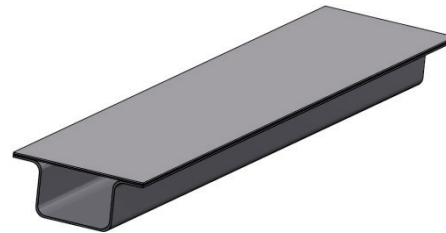
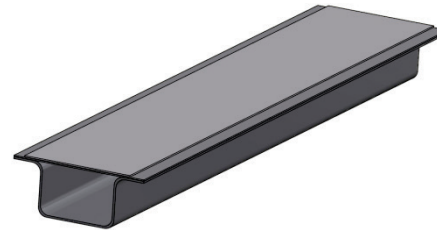


Laserleistung: ca. 1-1,2 kW
Spotdurchmesser: ca. 5 mm
Bestrahlungsdauer: variabel (ohne Prozesszeitoptimierung)

VW - Demonstrator

Hutprofil (22MnB5+AS150) mit
Schließ- (HX220LAD+Z100) und
Deckblech (AA6016-T4)

- technol. Vergleich (fügetechnischer Ausführungsformen)
- Ermittlung künftiger Einsatzpotentiale im Karosseriebau

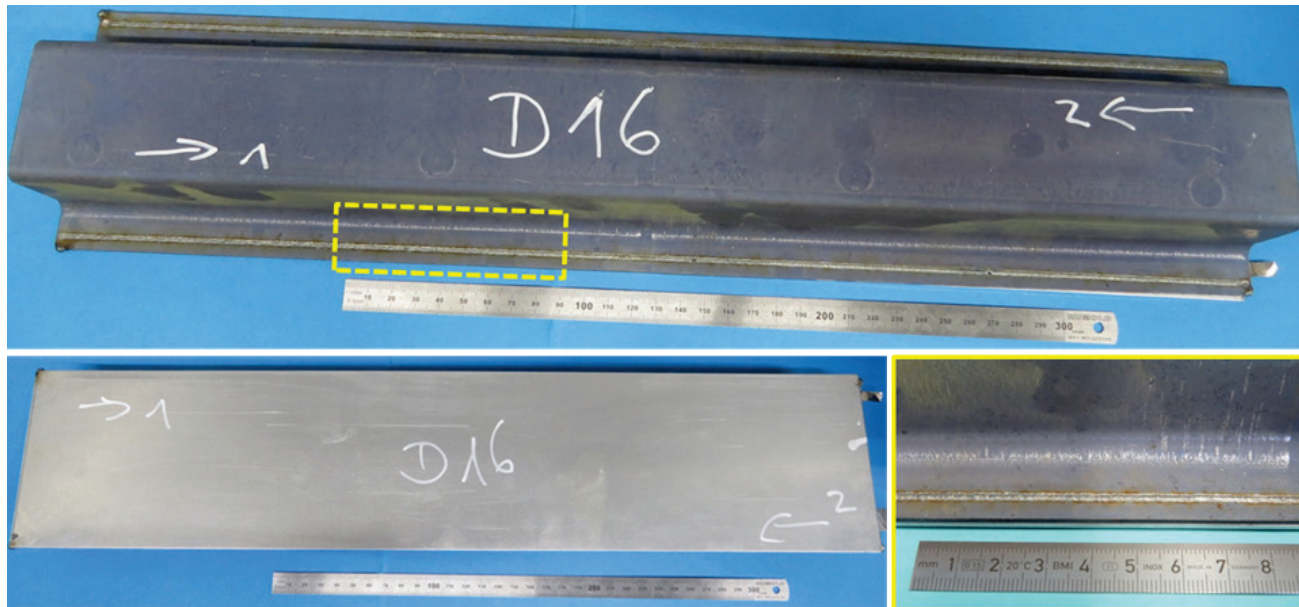


VW - Demonstrator

Schweißuntersuchungen: Fügevariante 2 (3-Blechverbindung)

► 2 Stichnähte als 3-Blechverbindung

→ jeweils $E_s = 100$, kJ/m ($P_L = 3,75$ kW, $v = 2,25$ m/min)



Sichtprüfung

► St-St-Al-Stichnähte sehr gleichmäßig

VW - Demonstrator

Schweißuntersuchungen: Fügevariante 2 (3-Blechverbindung)

▶ 2 Stichnähte als 3-Blechverbindung

→ jeweils $E_s = 100$, kJ/m ($P_L = 3,75$ kW, $v = 2,25$ m/min)

metallographische Analyse

▶ St-St-Al-Stichnähte: partiell zu geringe Einschweißtiefe

→ Anpassung E_s → iterative Prozessanpassung (metallographische Analyse)

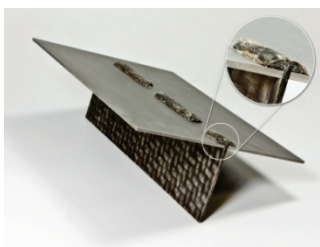
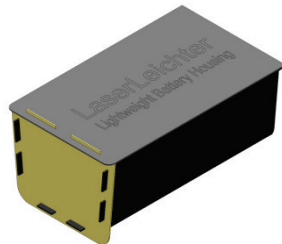
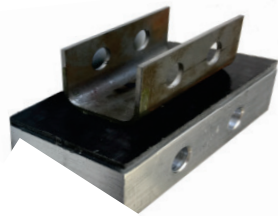
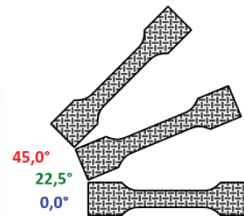
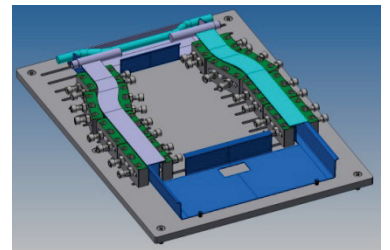
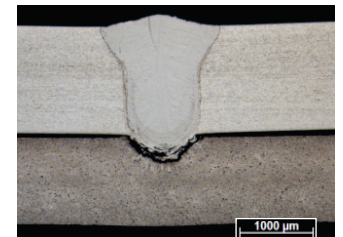
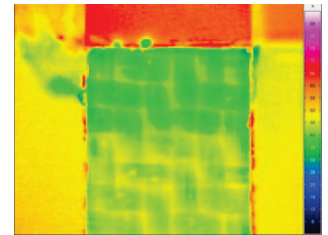


Zusammenfassung

Ergebnisse des BMBF – Projektes LaserLeichter

- Laserbasierte Verfahren zum Fügen artungleicher Materialien
- Entwicklung prozessangepasster Systemtechnik
- Validierung von Ansätzen zur zerstörungsfreien Prüfung
- Entwicklung von Ersatzmodellen zur Abbildung der Fügebereiche
- Modellierung ausgewählter Fügeprozesse

→ Validierung anhand von Technologie- bzw. Anwendungsdemonstratoren



GEFÖRDERT VOM

Die vorgestellten Arbeiten wurden gefördert im
Rahmen BMBF – Verbundvorhabens:
LaserLeichter (FKZ: 13N12878)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



BOSCH



SCHERDEL



Volkswagen

LUNOVU
Integrated Laser Solutions

inpro



InfraTec

MATFEM

Partnerschaft
Dr. Gese & Oberhofer
Maschinenbauingenieure



Fraunhofer

IWS

b.tu

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg



Fraunhofer

IWS



Dresden



Fraunhofer

LEICHTBAU