

Surface Toughening – Ein kleiner Streifen mit großem Einfluss auf die Verbindungsfestigkeit von geklebten Primärstrukturen im Projekt HAP

DRLK 2021

Onlinekonferenz, 02. September 2021

Martin J. Schollerer

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Dr. Steffen Niemann

Thomas Gesell

Sarah Froese

Michael Hanke



Wissen für Morgen



Übersicht

Einleitung & Motivation

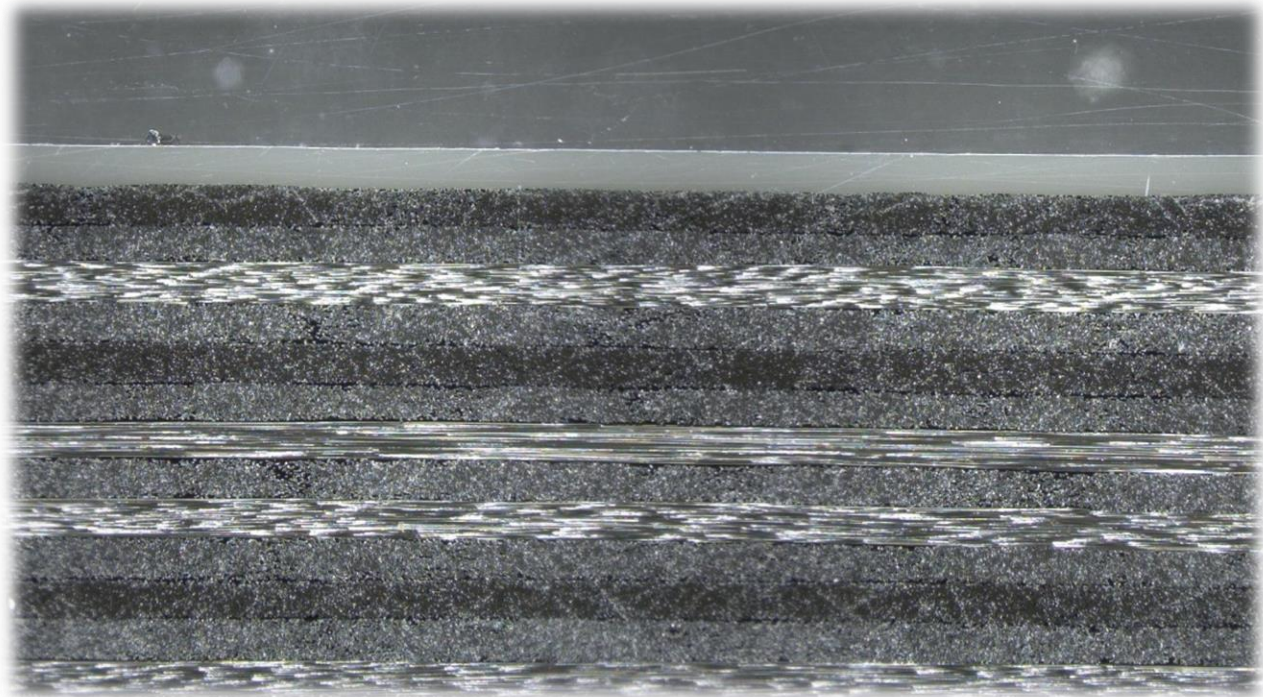
Surface Toughening

Festigkeitssteigerung

Risstopp in Klebschichten

Untersuchungen für HAP

Zusammenfassung und Ausblick



Einleitung und Motivation

→ Surface Toughening

Fertigungsorientiertes Design

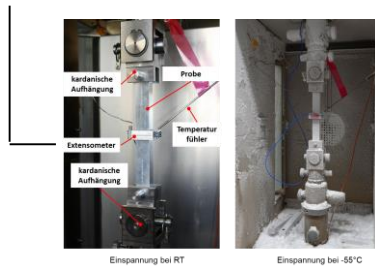
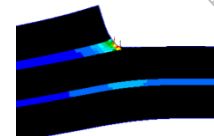
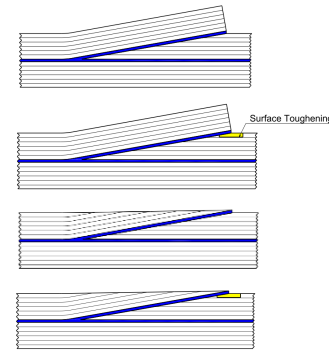
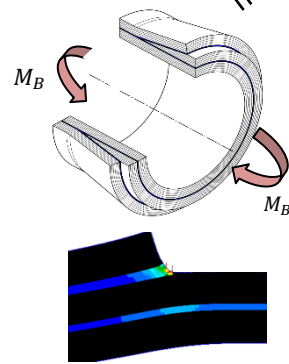
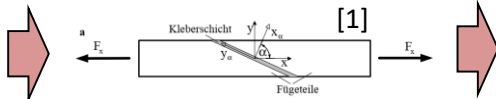
Schäftwinkel analytisch abschätzen

Numerische Detailbetrachtung zur **Reduktion von Spannungsspitzen** in der Fügestelle

Reduktion der Varianten

Strukturversuch

Numerische Betrachtung
Progressive Failure Analysis
Virtual Crack Clouser Technique
Cohesive Zone Modeling



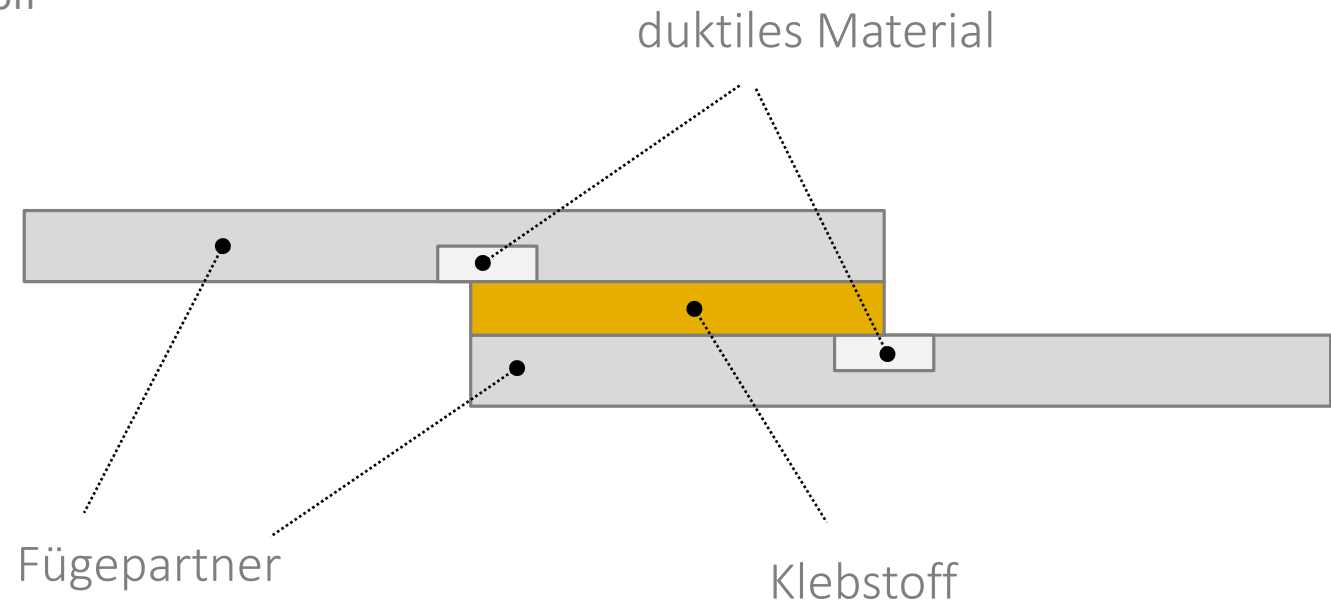
Klebstoffcharakterisierung



Surface Toughening (ST) – Konzept

Ein duktiles Material wird in den Fügepartner appliziert

- ➔ lokale Steifigkeitsveringerung am Überlappungsauslauf
- ➔ homogenere Lastumlagerung in den Klebstoff
- ➔ Senken von Spannungskonzentrationen
- ➔ Steigerung der Verbindungsfestigkeit
- ➔ einfache Positionierung
- ➔ sehr kostengünstige Technik

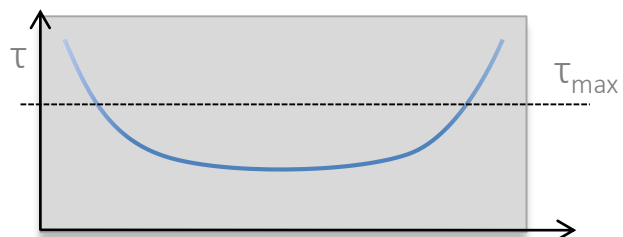


Surface Toughening – Funktionsweise

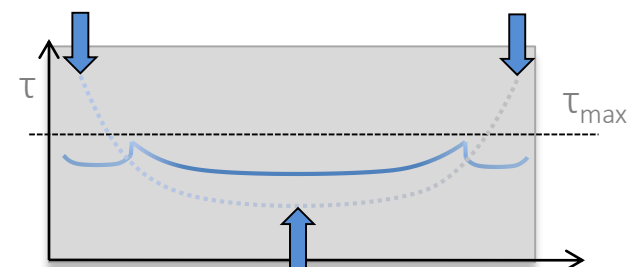
Anforderungen für ST:

$$E_{\text{Adherend}} \gg E_{\text{Adhesive}} > E_{\text{ST}}$$

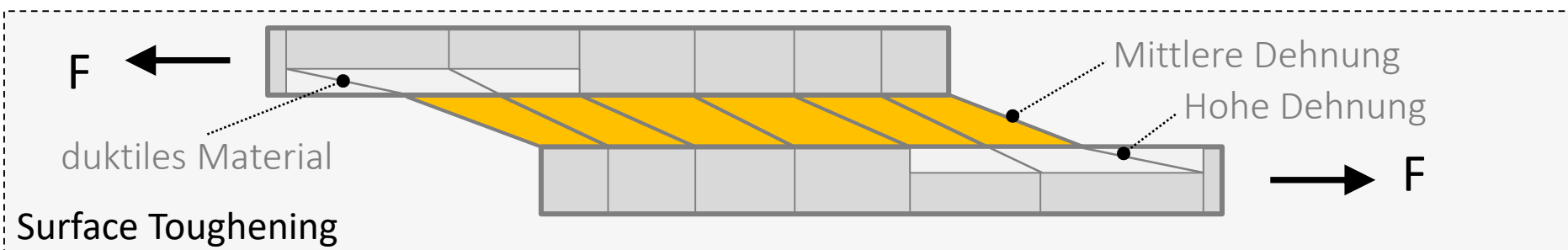
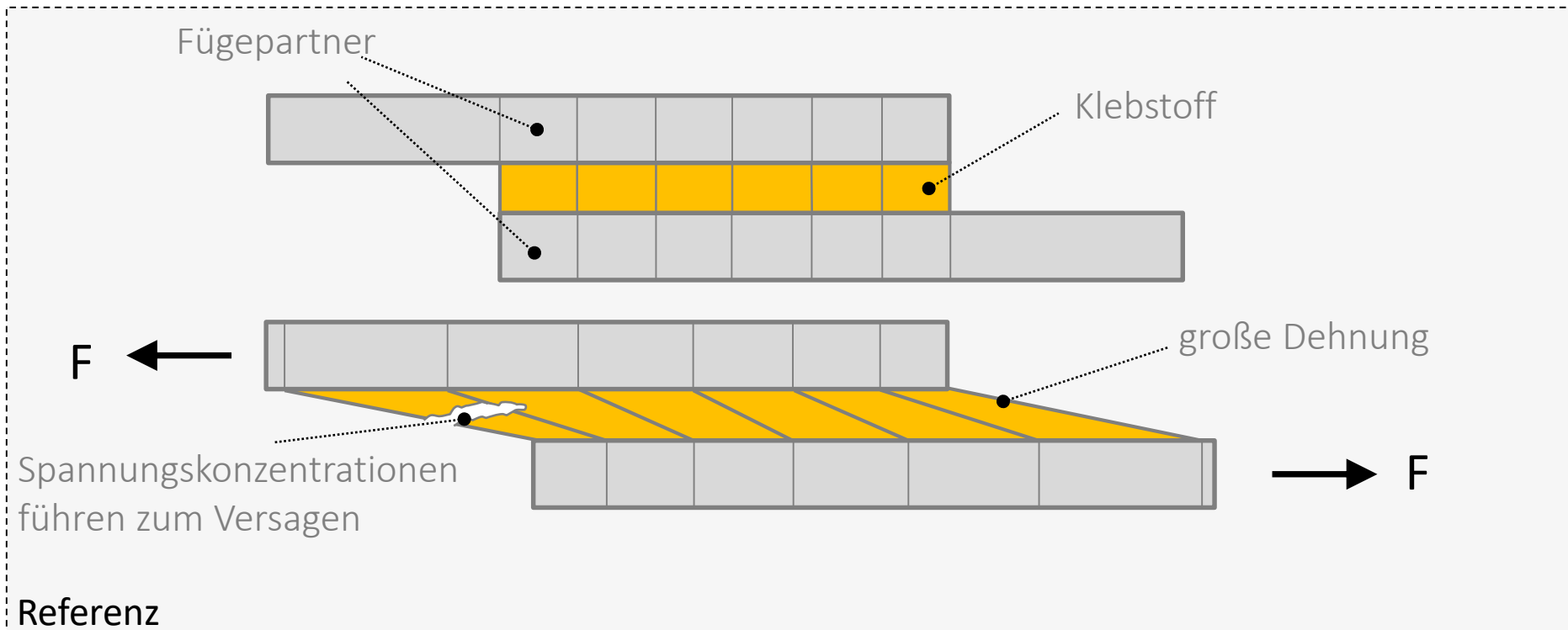
$$\epsilon_{\text{br, ST}} \gg \epsilon_{\text{br, Adhesive}}$$



Überlappung



Überlappung



Materialdaten für die Versuche

Fügepartner:

Hexcel HexPly® 8552 IM7 Laminate
 [0/+45/90/-45/0/+45/90/-45]_S, 16 ply, 2mm

Young's Modulus [MPa] 65020
 Poisson's ratio: 0.31

Aushärtung bei 180°C

Klebstoff [1],[2]:

Hysol® EA 9695 0.05 NW AERO

Young's Modulus [MPa] **2576.8**
 Poisson's ratio: 0.43
 Tensile strength [MPa] 59.2
 Global elongation at break [%] **3**
 Tensile Yield strength [MPa] 46.78
 Shear yield strength [MPa] 32.78
 Shear failure strength [MPa] 51.94

Aushärtung bei 130°C

Duktiles Material [1],[3]:

Kynar® 740, PVDF

Young's Modulus [MPa] **1716.1**
 Poisson's ratio: 0.46
 Tensile strength [MPa] 51.5
 Global elongation at yield [%] 6.1
 Global elongation at break [%] **35**
 Tensile Yield strength [MPa] 50.7

Aufschmelzen bei 168°C

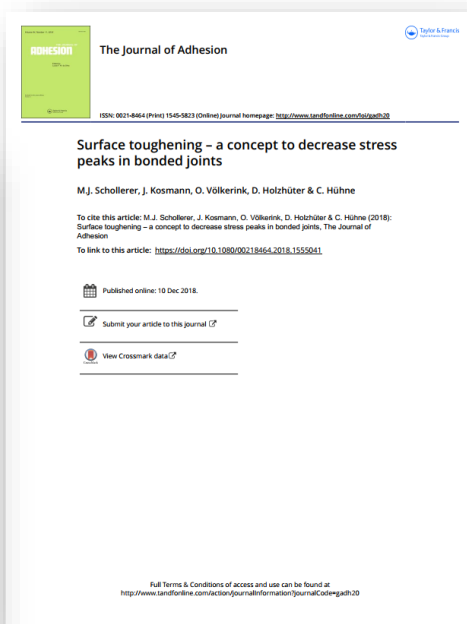
2/3

x10

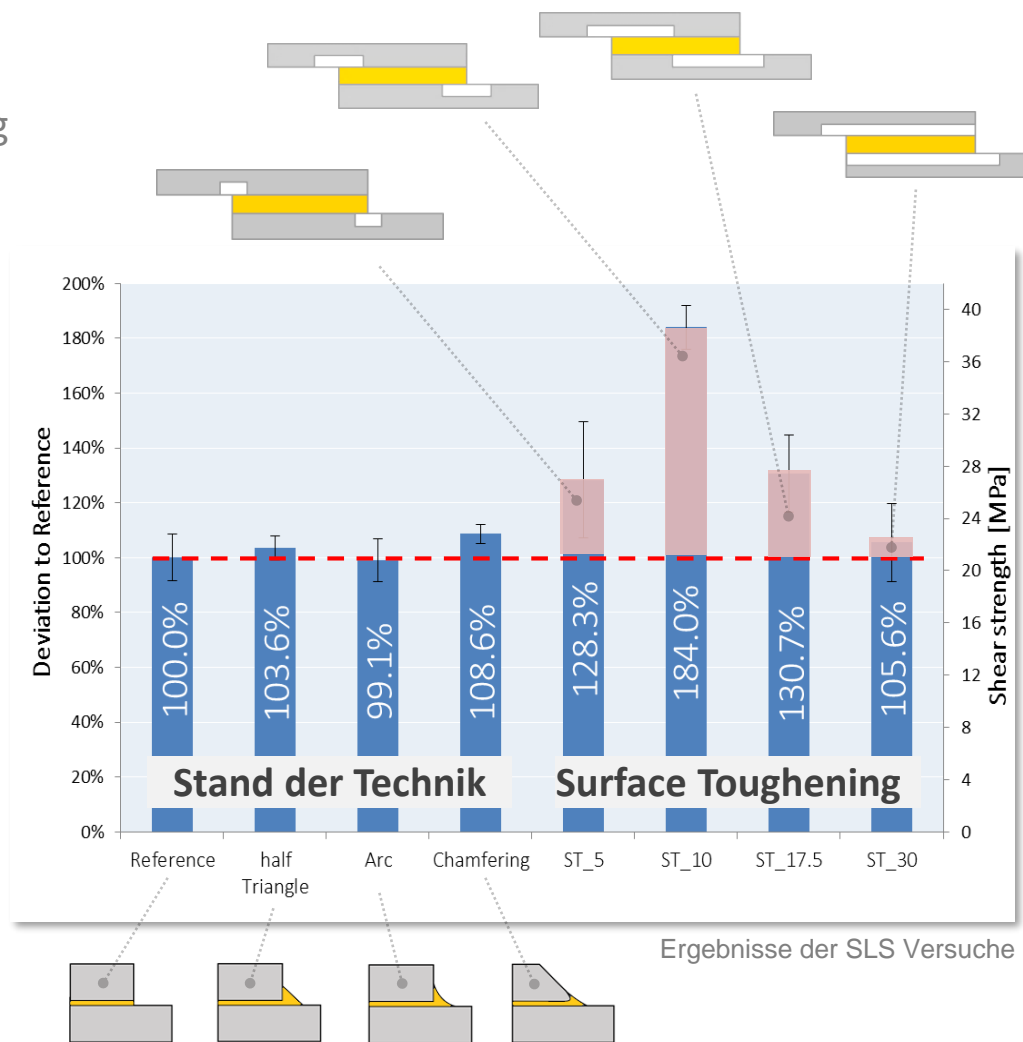


Surface Toughening - Festigkeitssteigerung bei Überlappungsverklebungen

- Konzepte aus dem Stand der Technik zeigen kaum Festigkeitssteigerung
- Steigerung der Verbindungsfestigkeit um **84%** (SLS ASTM D 5868)
- Steigerung der Festigkeit hängt von Geometrie des ST Materials ab
- Fertigungs- und Testdetails →
- **Kein Risswachstum bei ST- Proben**

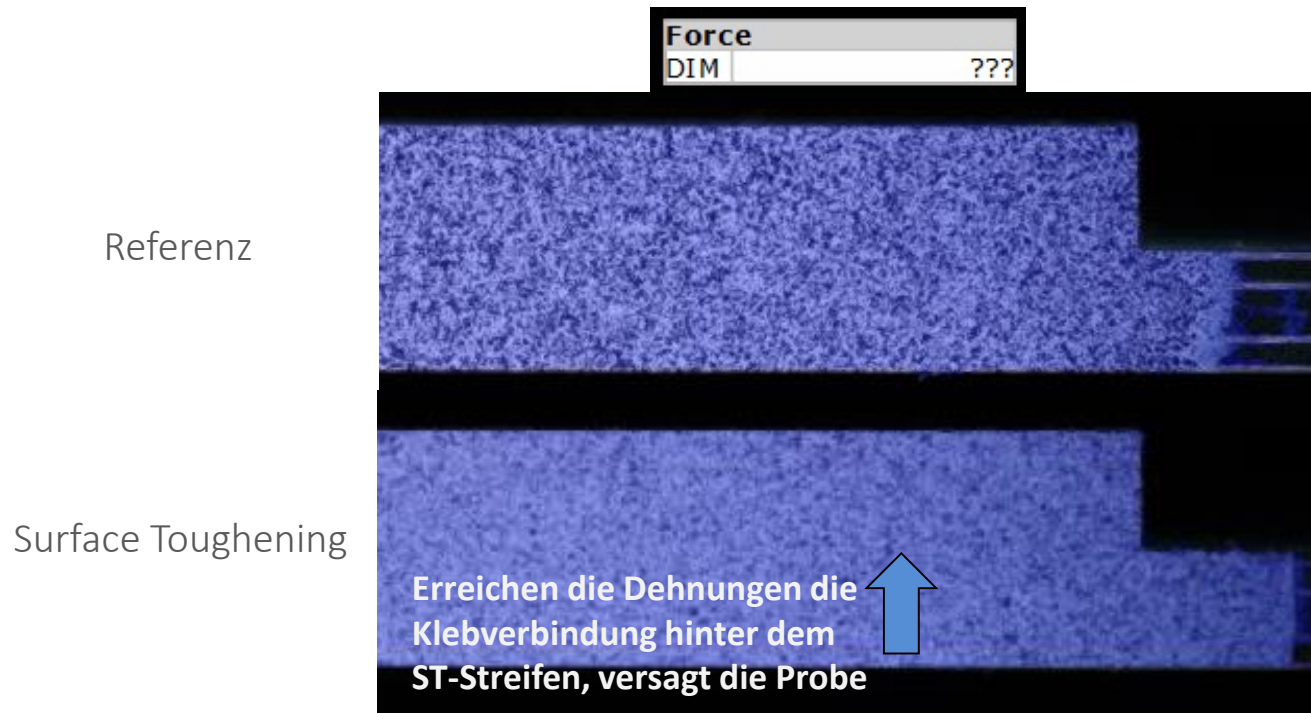


[4]

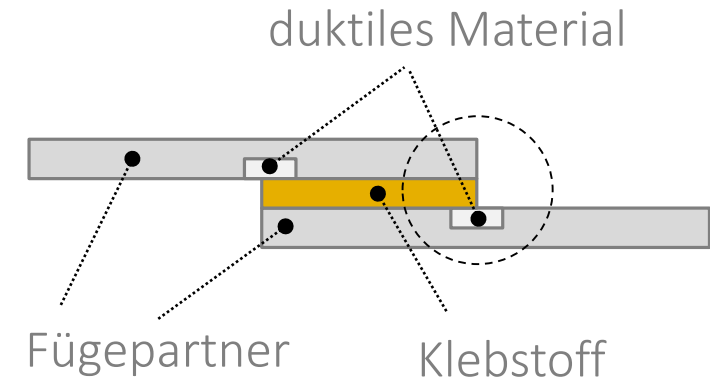


[5]

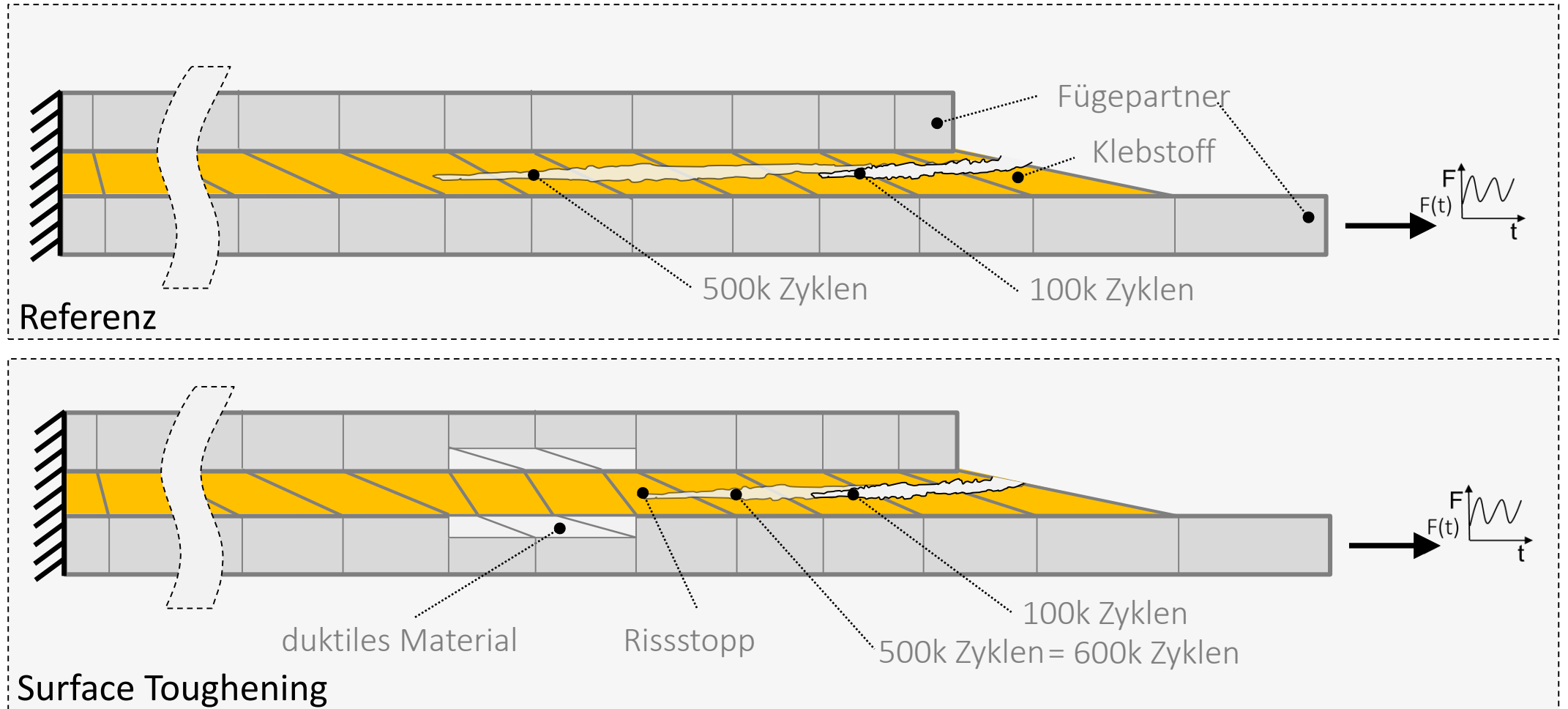
Versagen einer Überlappungsklebung (SLS)



Video des statischen Versagens einer SLS Probe bei 2mm/min Prüfgeschwindigkeit

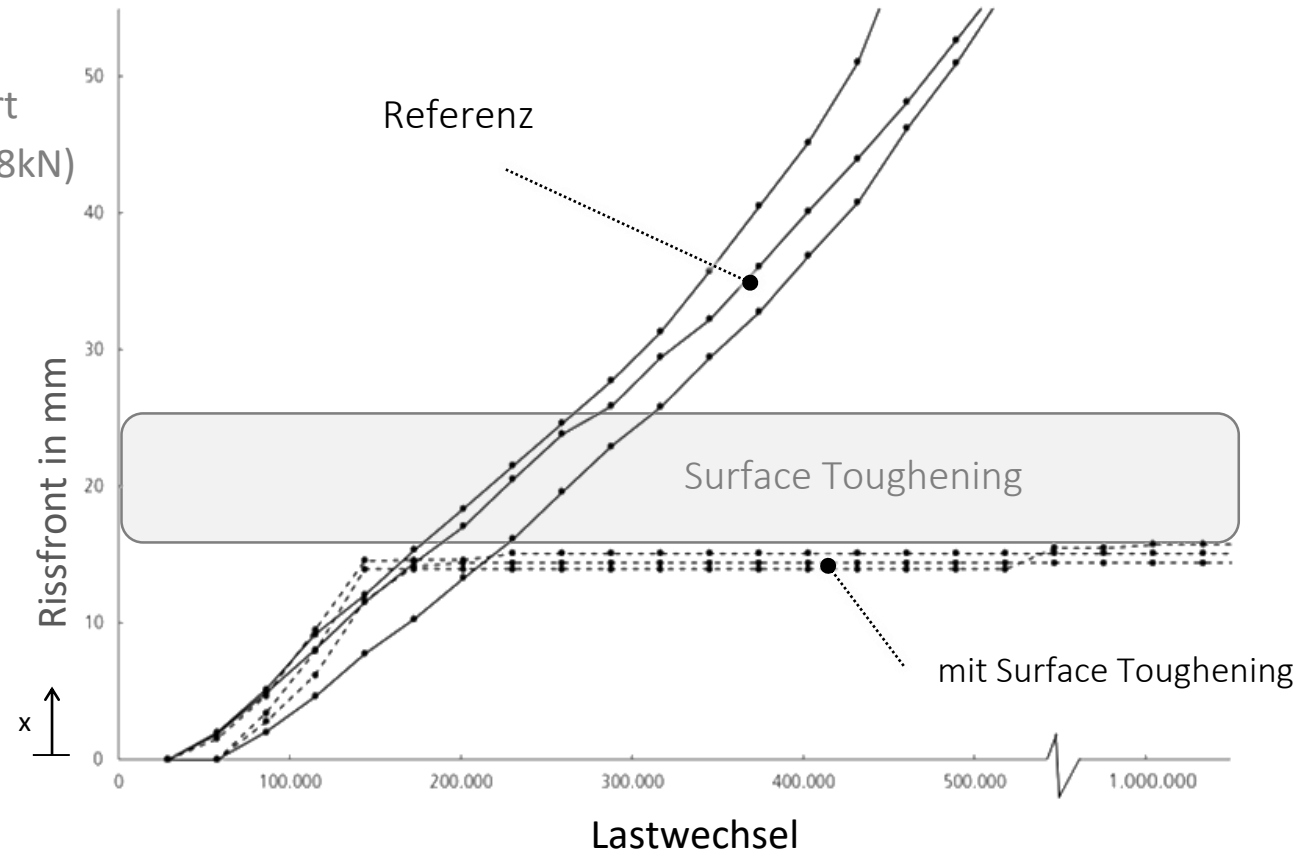
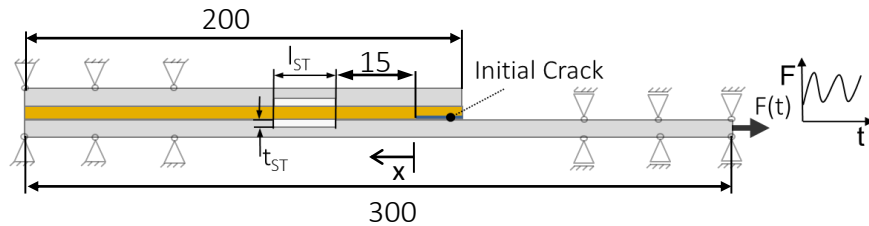


Surface Toughening – Rissstopper in Klebverbindungen



Surface Toughening – Rissstopper in Klebverbindungen (Ergebnis für $3000\mu\epsilon$)

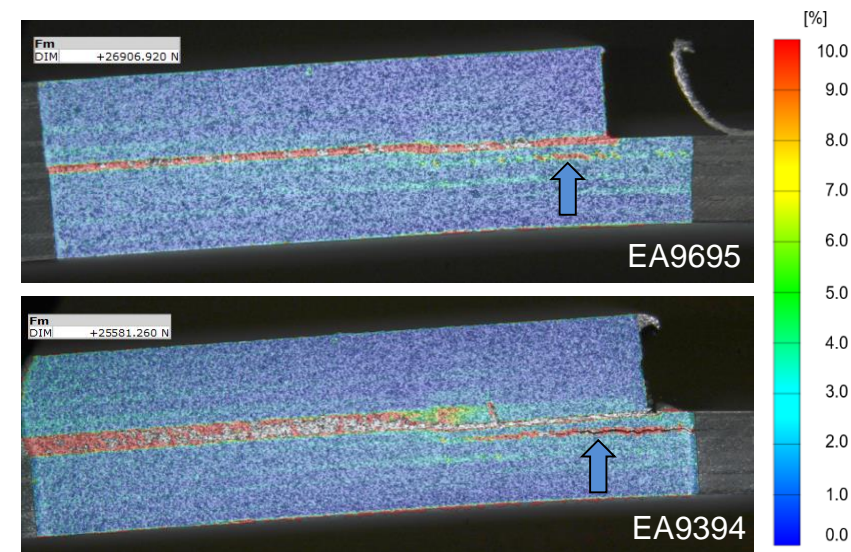
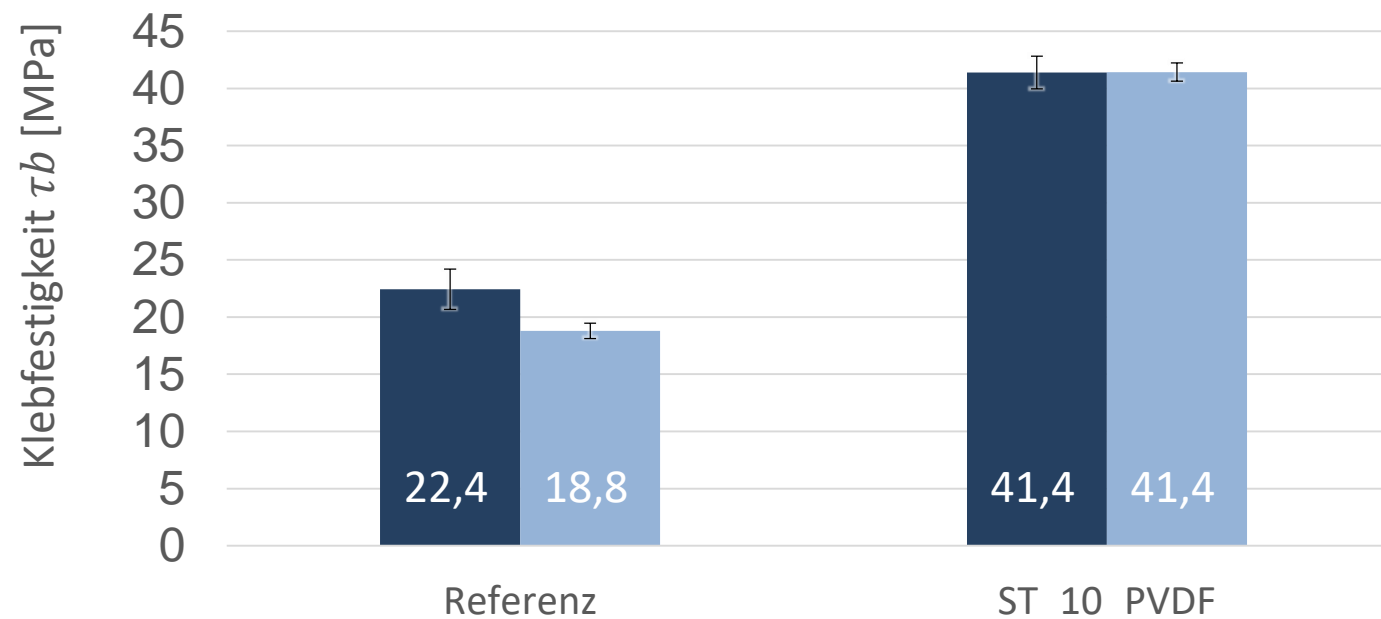
- Versuche zum Rissstopp an CLS Proben durchgeführt
- Sicherer Rissstopp bis $3000\mu\text{m}/\text{mm}$ getestet (LL 9,28kN)
- 8Hz, 25,4mm Probenbreite
- $t_{\text{ST}}=0,1\text{mm}$, $l_{\text{ST}}=10\text{mm}$
- Versuche laufen parallel noch



Erweiterungen der Untersuchungen auf HAP – Klebstoffsystem

- Klebstoffanpassung auf EA 9394 (pastöses System)

Auswirkung des Klebprozesses auf die zähmodifizierte Klebverbindung



Delamination kurz vor Bruch, Darstellung in v. Mises ϵ

EA9695 $T_{cure} = 130^{\circ}C @ 3h$

EA9394 $T_{cure} = 23^{\circ}C @ 7Tage$

➔ Festigkeitssteigerung von **122%**

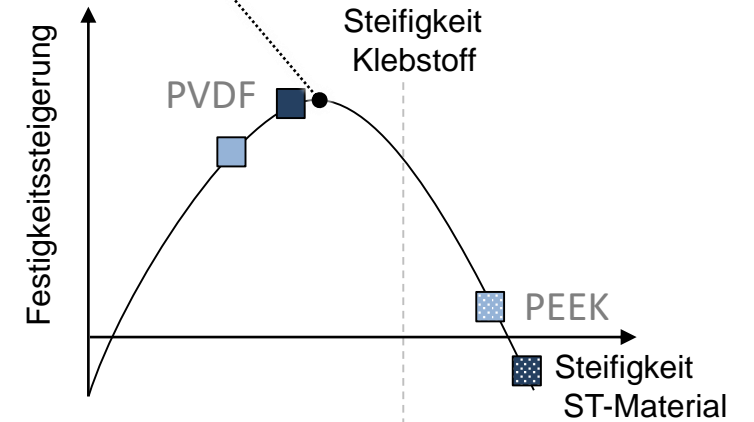


Erweiterungen der Untersuchungen auf HAP – Feuchtekkonditionierung



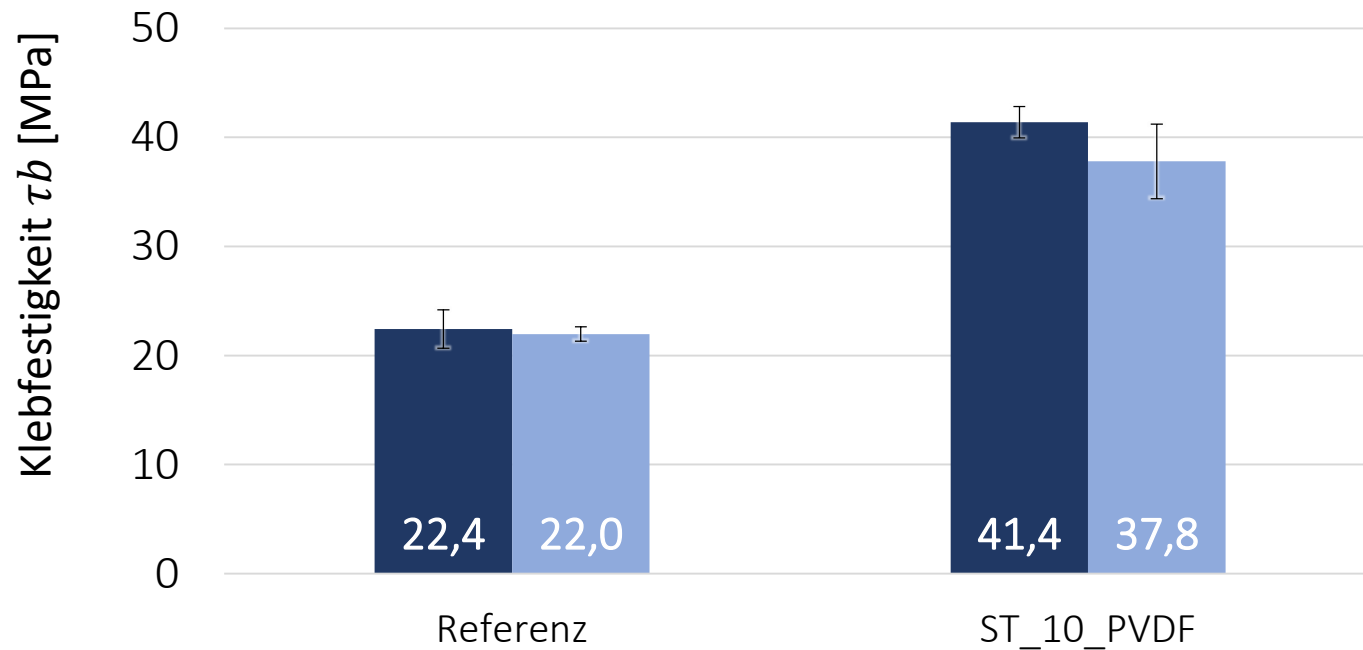
- 14 tägige Auslagerung der Proben bei 75°C/80% rel.F

Maximum durch PVDF abgebildet?

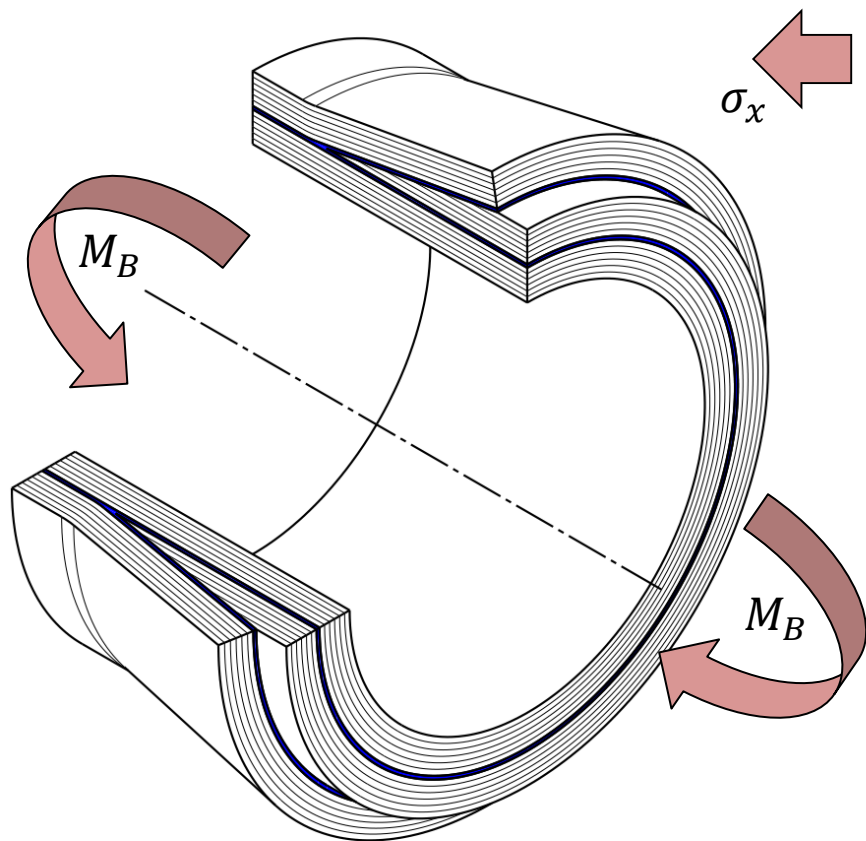


- trocken
- ausgelagert

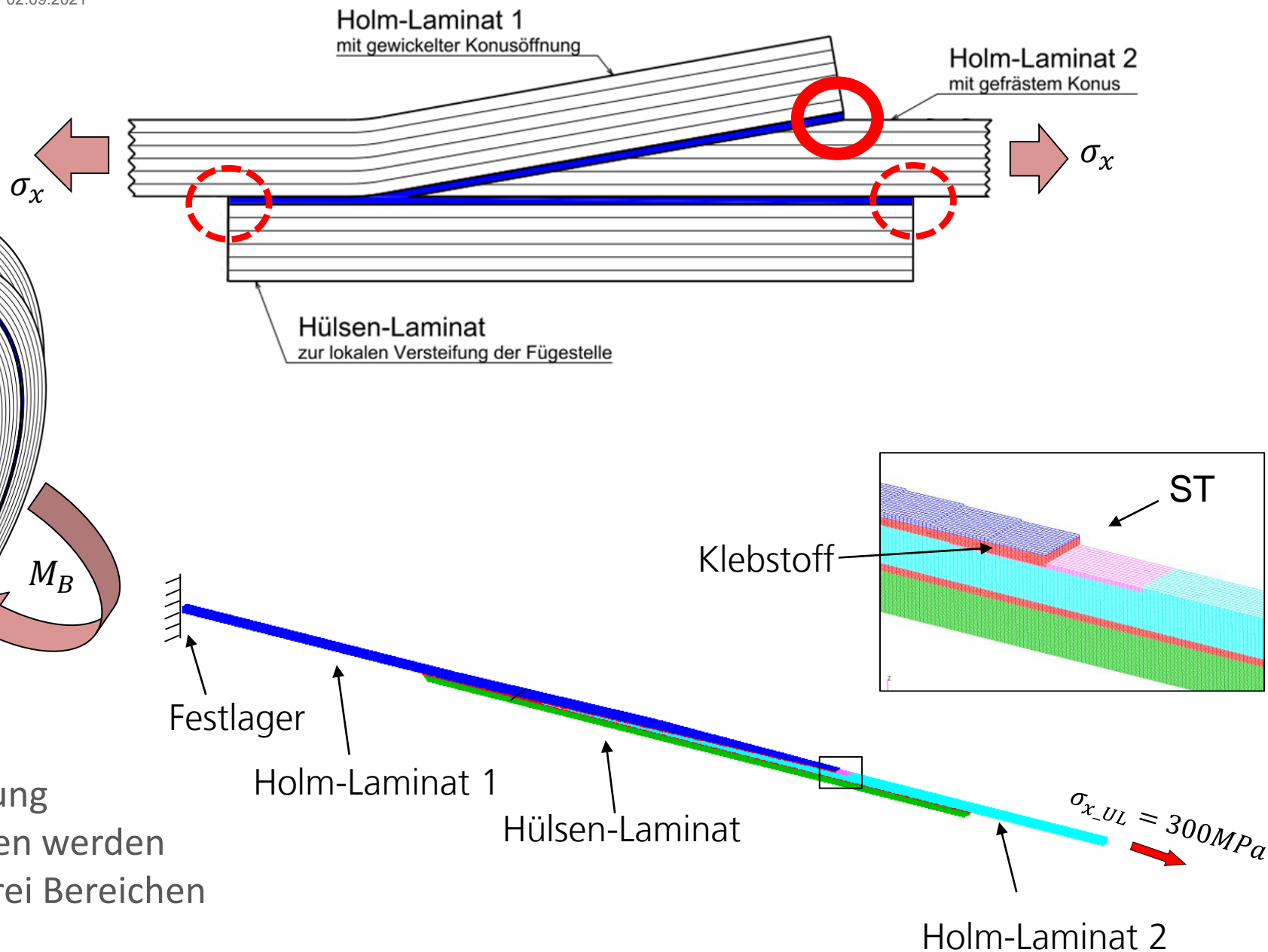
Feuchtigkeitseinfluss auf die Klebfestigkeit



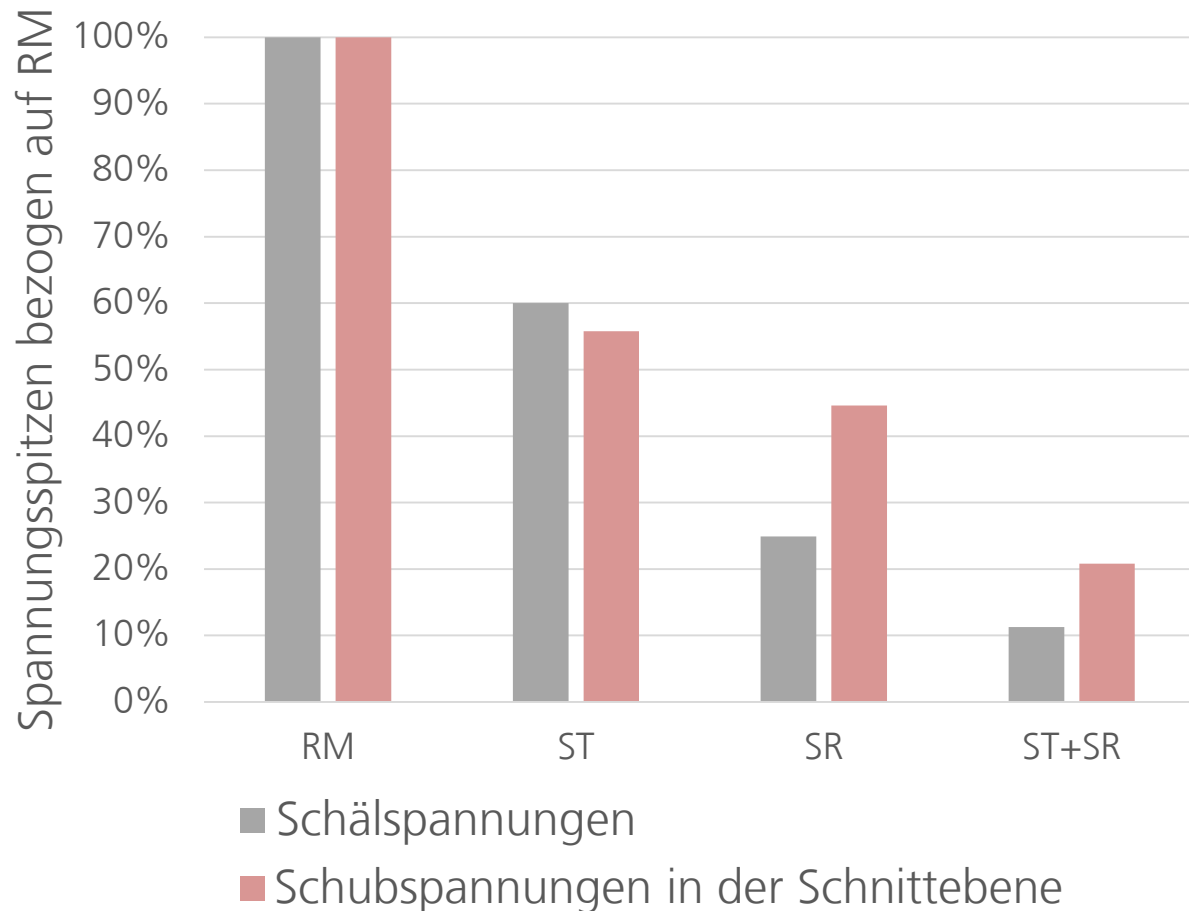
Übertragung auf HAP



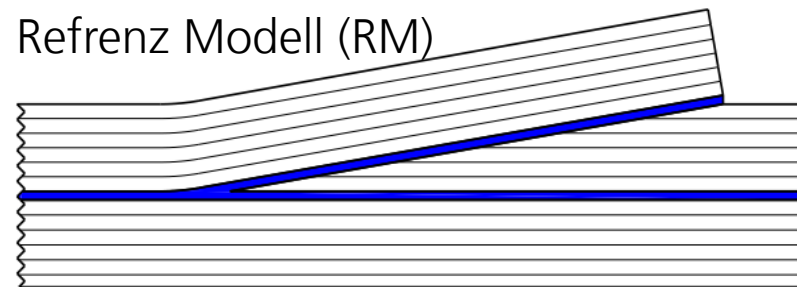
- Biegemoment wirkt auf Verbindung
- Normalspannung muss übertragen werden
- Spannungskonzentrationen an drei Bereichen



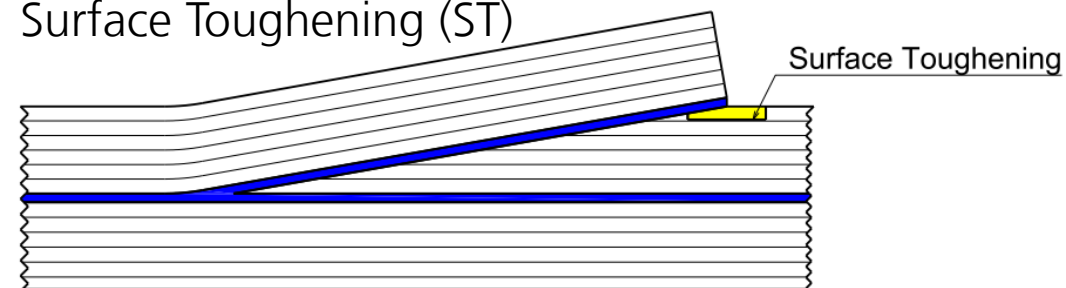
Reduktion der Spannungsspitzen im oberen Auslaufbereich der Fugestelle



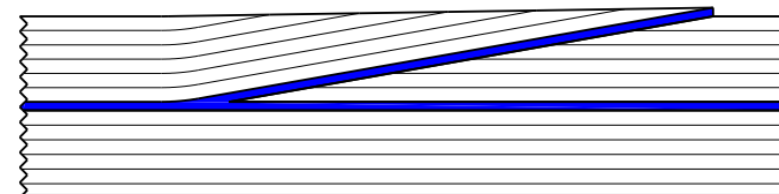
Refrenz Modell (RM)



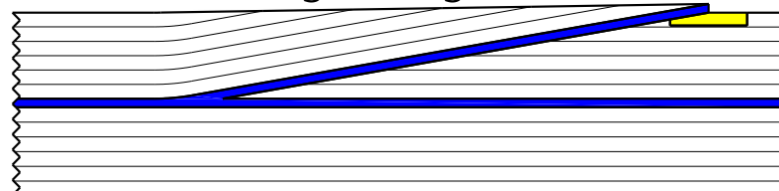
Surface Toughening (ST)



Geometrische Steifigkeits Reduktion (SR)



Geometrische Steifigkeits Reduktion + Surface Toughening (SR+ST)



Fertigungsversuch am Rohrholmsegment



- Applikationstest im Innendurchmesser des Rohrholmes
- Erste Fixierung durch Klebestreifen
- Wickelfaden hält PVDF Streifen
- Keine Beeinträchtigung des Wickelprozesses
- Gute Anhaftung ohne Fehlstellen



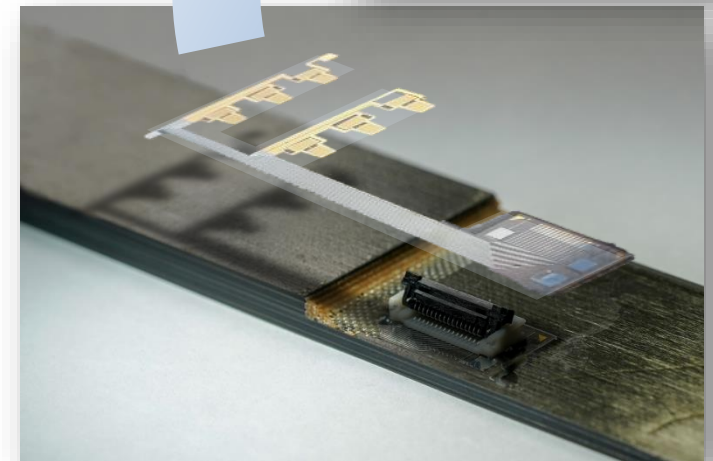
Zusammenfassung und Ausblick

Surface Toughening...

- ... steigert die Verbindungsfestigkeit und die Ermüdungsfestigkeit von Klebeverbindungen
- ... kann hervorragend bei Prepregfertungsverfahren eingesetzt werden
- ... ist einfach in der Anwendung und verändert den Klebprozess nicht
- ... ist eine kostengünstige Technik zur Reduzierung von Spannungskonzentrationen in der Klebeverbindung

Ausblick:

- Identifikation des ST - Effektes bei Tieftemperaturversuchen
- Durchführung der Holmbruchversuche
- Integration eines Sensors zur Klebschichtüberwachung in Kooperation mit der TU Braunschweig



[6]



Dankeschön!

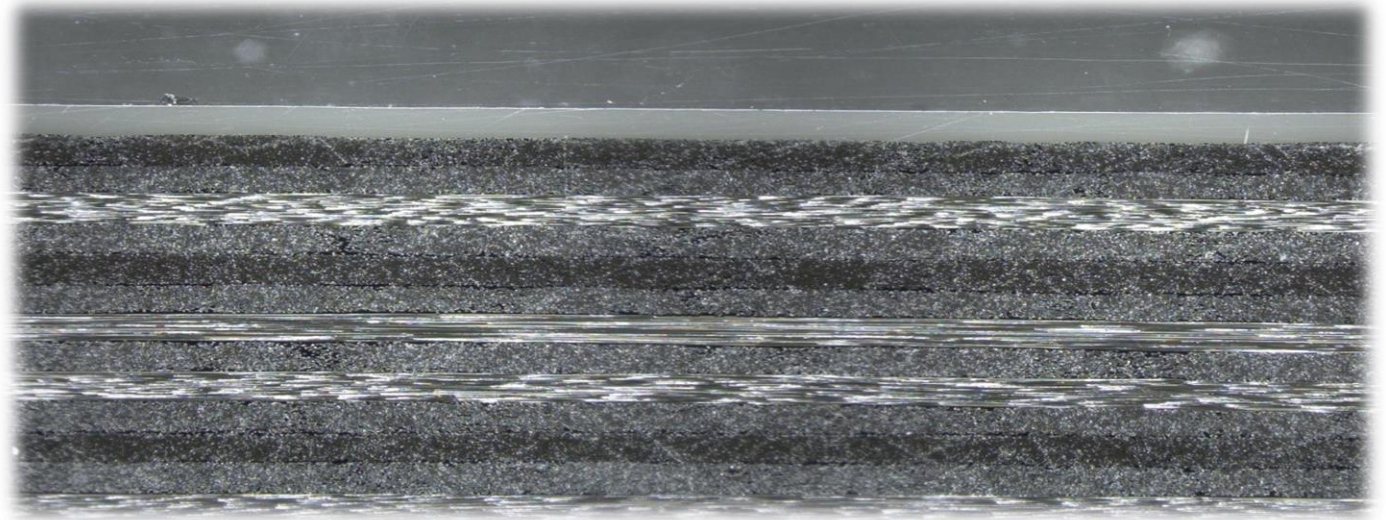
Martin J. Schollerer

Research Engineer

DLR
Institute for Composite Structures
and Adaptive Systems

Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig
Germany

Phone: +49 531 295 - 2224
E-Mail: Martin.Schollerer@dlr.de



Knowledge for Tomorrow

Literatur

- [1] T. Löbel **The Hybrid Bondline: A Novel Disbond-Stopping Design for Adhesively Bonded Composite Joints** (2016)
German Aerospace Center
- [2] Loctite **Structural Adhesives Aerospace Product Selector Guide**
http://www.ntkinternational.com/pdf/361151_ASA13026_structural_RW_06.pdf (2018) Henkel
- [3] Kynar **KYNAR® 740 PVDF natural**
<https://www.ensingerplastics.com/en-us/shapes/products/kynar-740-pvdf-natural> (2018) Ensinger
- [4] Schollerer, M.J.; Kosmann, J.; Völkerink, O.; Holzhüter, D.; Hühne, C. **Surface toughening—A concept to decrease stress peaks in bonded joints**. J. Adhes. 2018, 95, 495–514.
- [5] Schollerer, M.J.; Kosmann, J.; Holzhüter, D.; Bello-Larroche, C.; Hühne, C. **Surface toughening—An industrial approach to increase the robustness of pure adhesive joints with film adhesives**. Proc. Inst. Mech. Eng. Part G J. Aerosp. Eng. 2020,
- [6] von der Heide, C.; Steinmetz, J.; Schollerer, M.J.; Hühne, C.; Sinapius, M.; Dietzel, A. **Smart Inlays for Simultaneous Crack Sensing and Arrest in Multifunctional Bondlines of Composites**. Sensors 2021, 21, 3852.

