

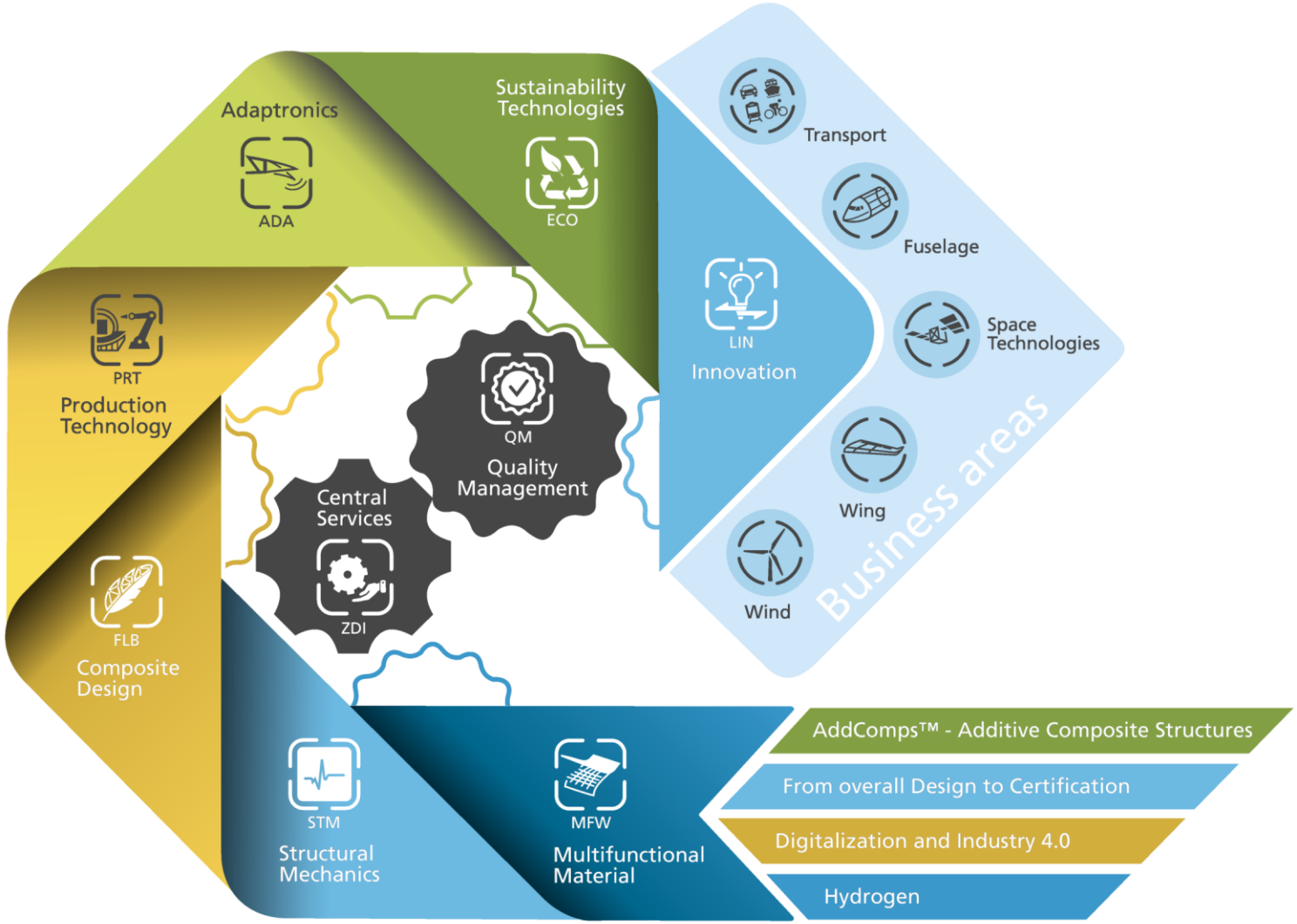
DATENGETRIEBENE PROZESSOPTIMIERUNG FÜR ROBOTERBASIERTES ÜBERDRUCKEN

Additive Herbsttagung 2026 – PLM Benutzergruppe

Jan-Uwe Reinhard Schmidt-Bösemann[1]

[1] German Aerospace Center (DLR), Intitute of Lightweightsystems, 38108 Braunschweig

Institute of Lightweight Systems



7 Scientific Departments

- Complete process chain for the lightweight system construction of the future
- 180 employees in Braunschweig, Stade, Bremen, Aachen, Cochstedt

Quality Management – certified according to:

- ISO 9001
- Test Laboratories DIN ISO 17025 and Nadcap

Centrale Services

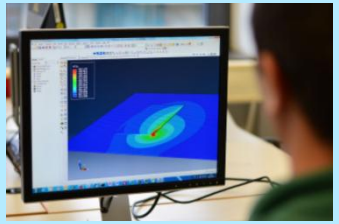
- Administrative services for the institute

Strategiefeld– AddCompS™ – Additive Composite Structures



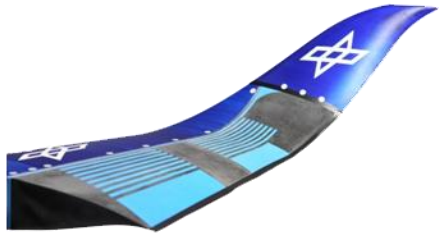
Funktionalisierung von Thermoplasten für gesteigerte Performance

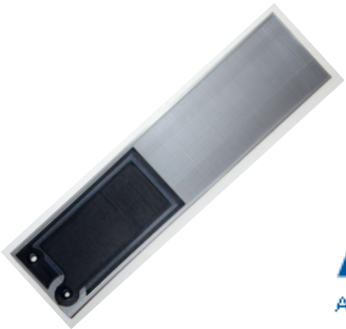
<< Wie kann additive Technologie zur Wertsteigerung von Leichtbaustrukturen beitragen>>



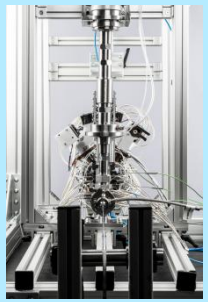
Simulation der additive Extrusion







ADDITIVE EXTRUSION



Druck mit kurz- und endlosfaserverstärkten Materialien

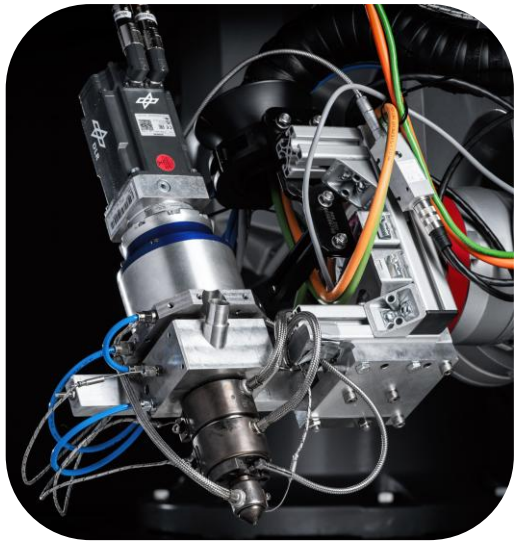
- Kombination von Fertigungstechnologien
- Druck von Druckaktuierten Zellen
- Sensoren in Struktureingedruck
- Innovation Lab



GEOMETRIE ERFASSEN UND FERTIGUNG PLANEN

Technology Evaluation Environment

SFRP-pellet print head



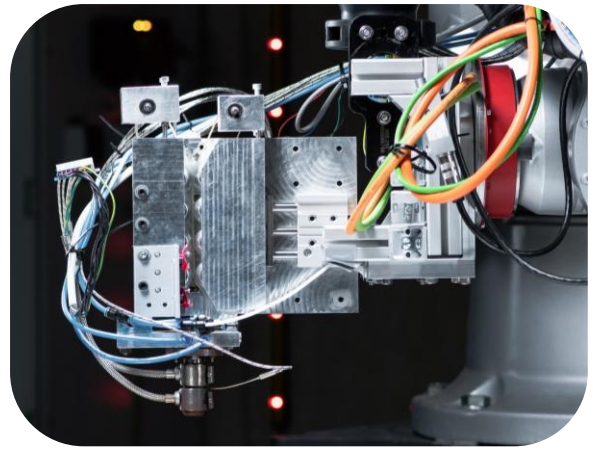
Extruder: pellet
Temperature: up to 450 °C
Throughput: 0,1 – 2 kg/h
Nozzle diameter: 0,4 – 3 mm



Highly accurate CNC-controlled robotic additive manufacturing cell with two end effectors and a tool changing system

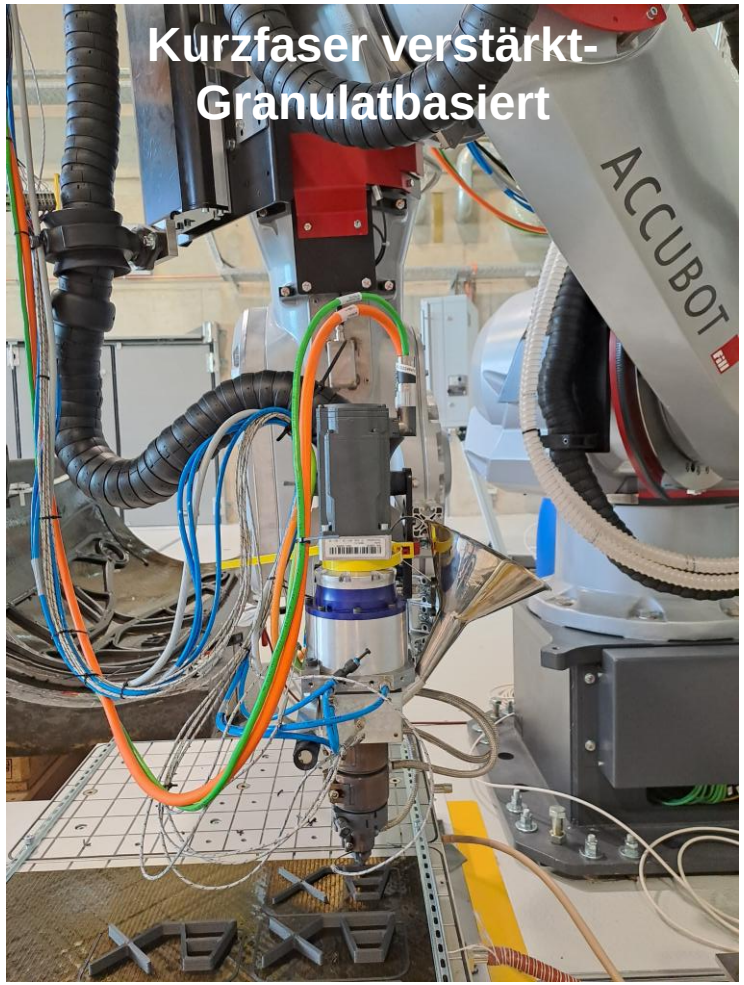
Build Space: 1,5 x 1 x 1 m (up to 4 x 4 x 2 m possible)
Build platform: up to 250 °C, modular system
Robot: Fill ACCUBOT
Control: Siemens SINUMERIK ONE
Precision: 60 µm absolute positioning accuracy (in 1 m^3)

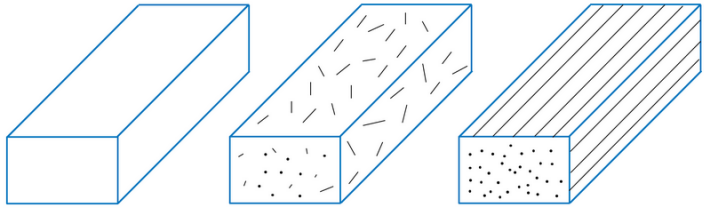
CFRP-Filament print head

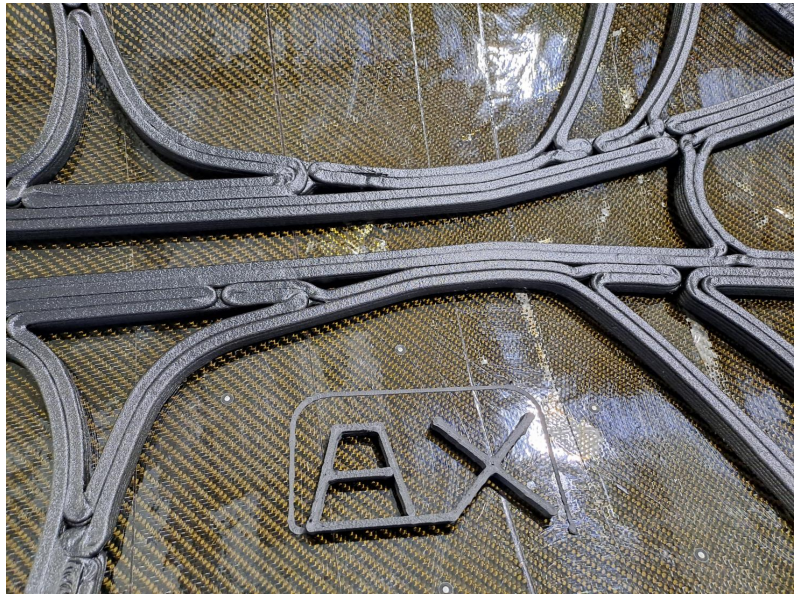


Extruder: Continuous fiber reinforced filament
Temperature: up to 450 °C
Throughput: 1 – 20 mm/s
Nozzle diameter: 1,1 mm

Additive Funktionalisierung, im Großformat 3D-Druck

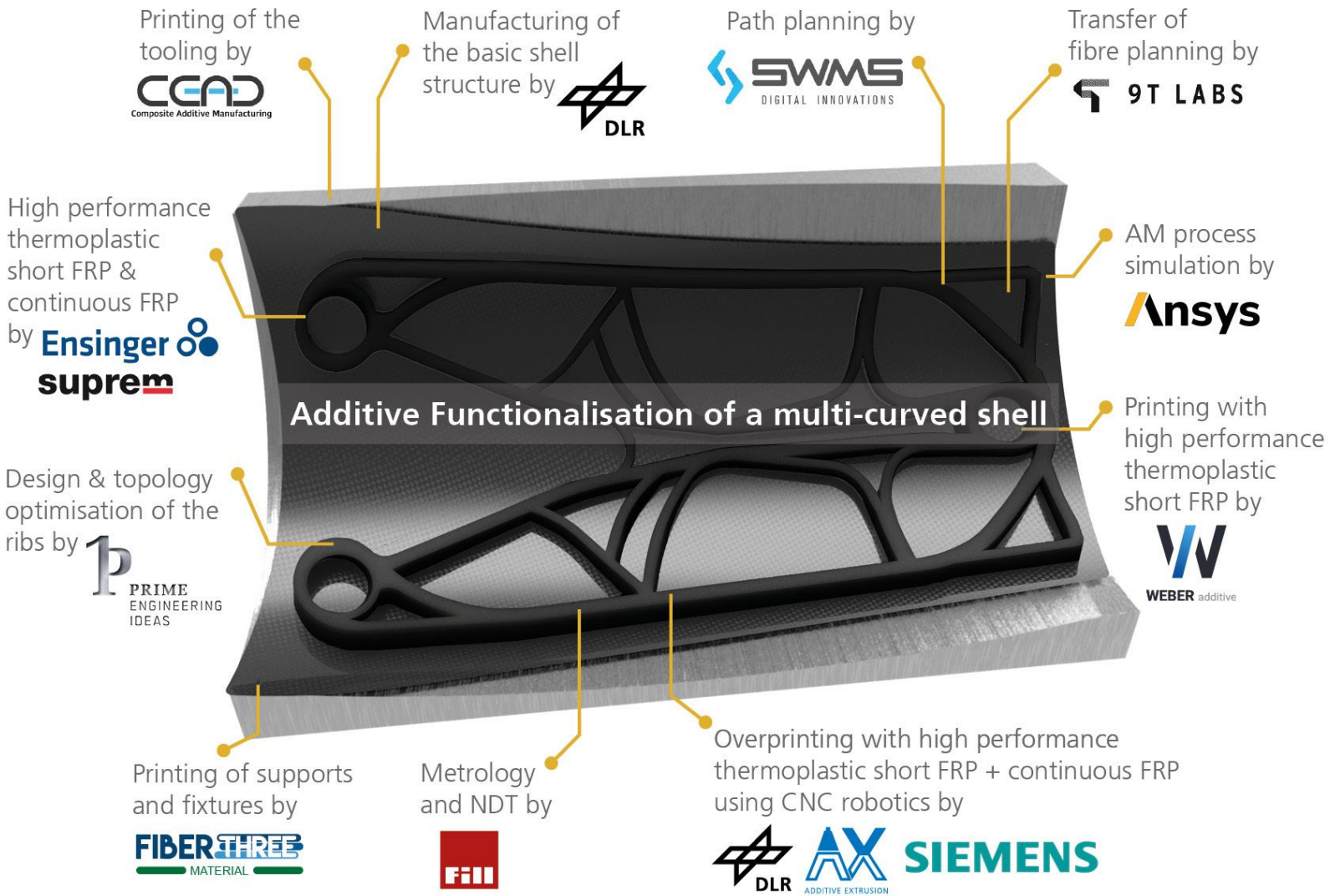








Additive Funktionalisierung
Demonstrator

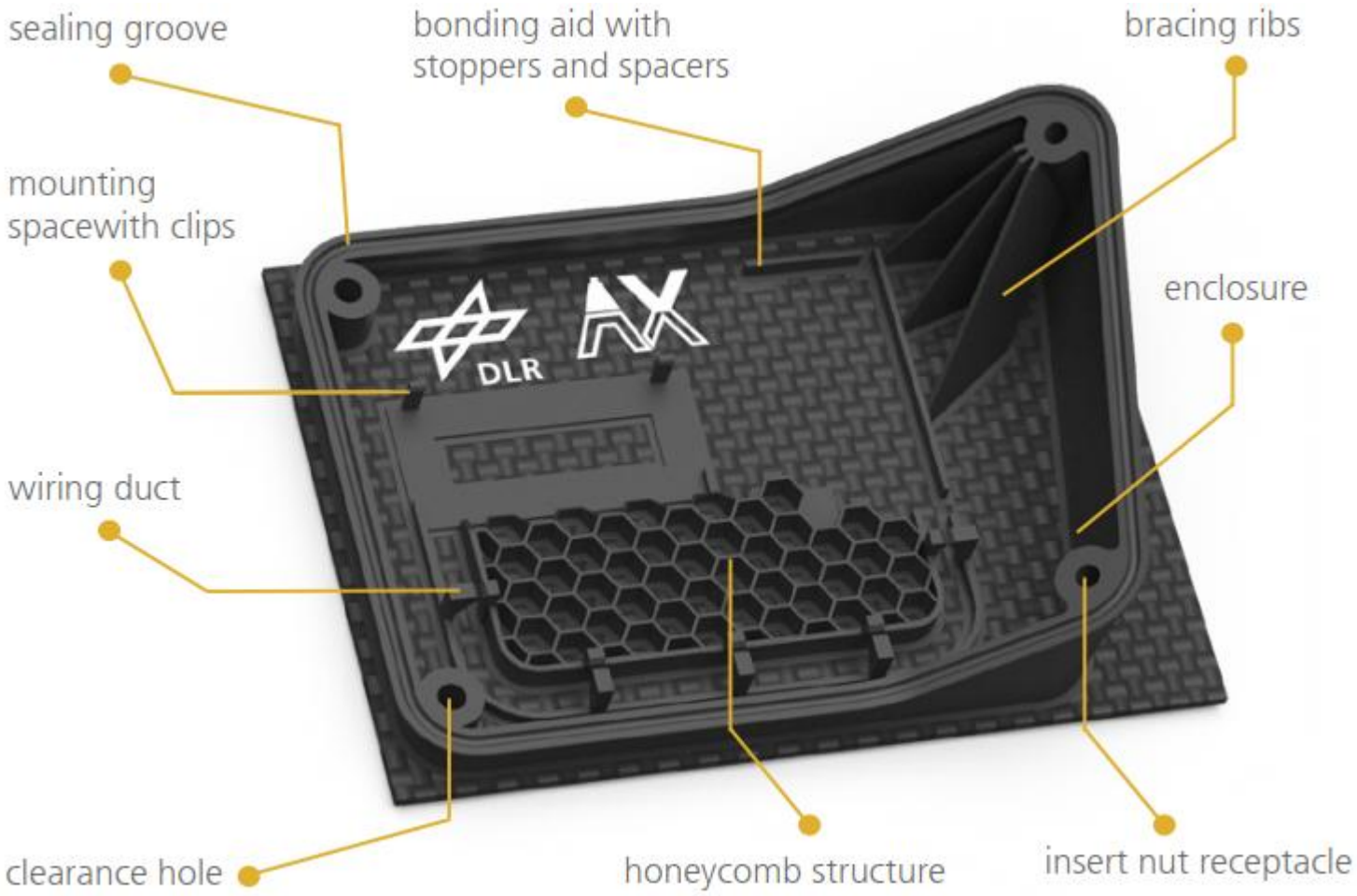


Kombination von Kurz- & Endlosfaserverstärktem Material für additive Funktionalisierung einer mehrfach gekrümmten duroplastischen Schale



- Additive Funktionalisierung für Kosteneffiziente Produktion von Komposit Bauteilen
- Überdrucken einer mehrfach gekrümmten Struktur mit verschiedenen Materialien
- Kombination von Duroplast und hoch Temperatur Thermoplast
- Industriell verfügbare Prozesskette

Additive Funktionalisierung zur Funktionsintegration





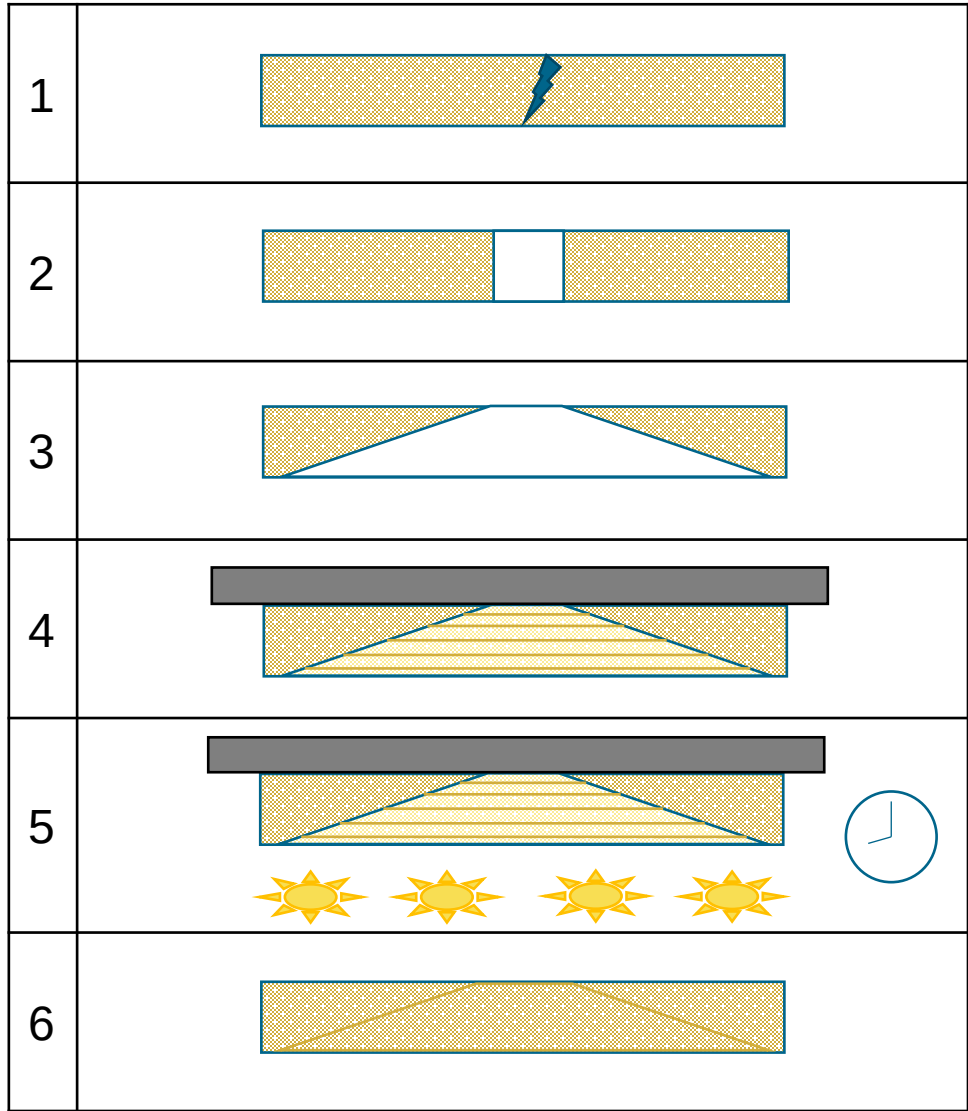
Use Case - Additive Reparatur



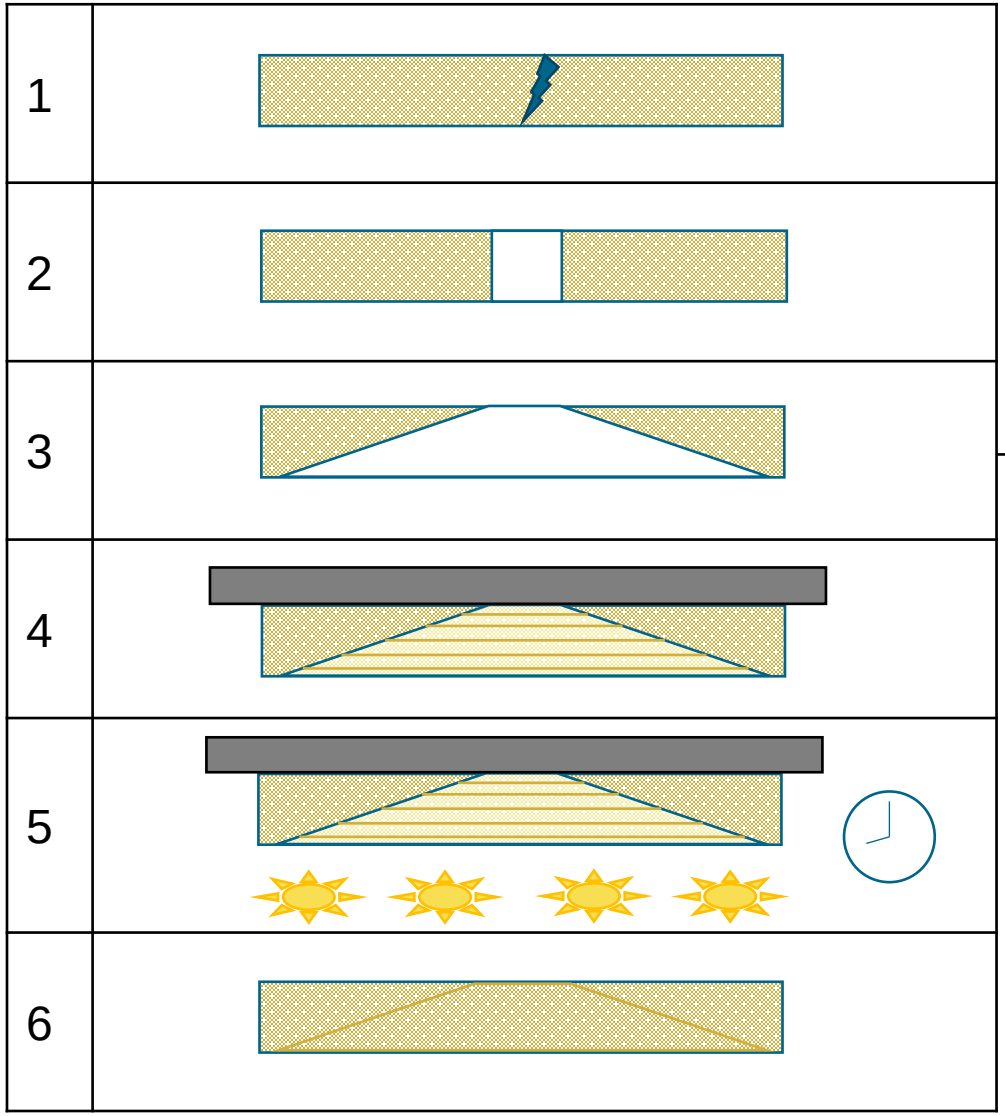


Use Case der Deutsche Bahn:
Additive Reparatur impactgeschädigter GFK-Bauteile an Schienenfahrzeugfronten

Benchmark: manuelle Reparatur

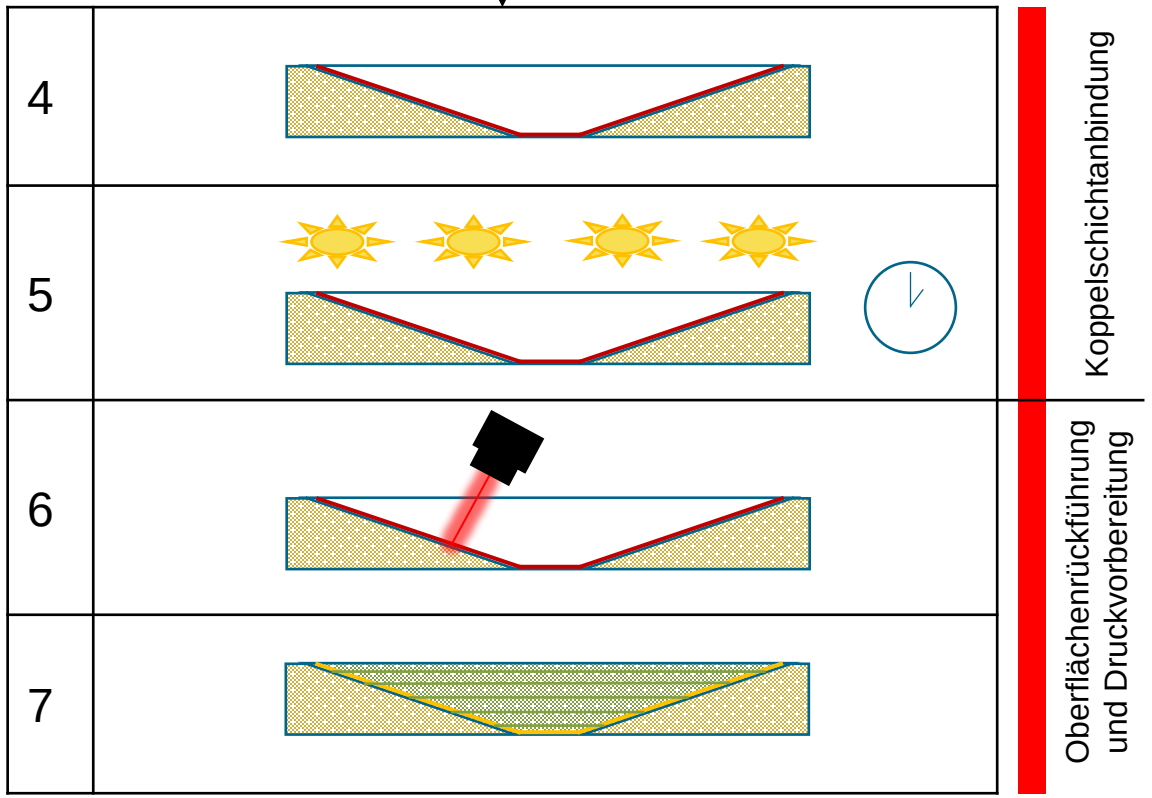


Additive Reparatur-Prozesskette

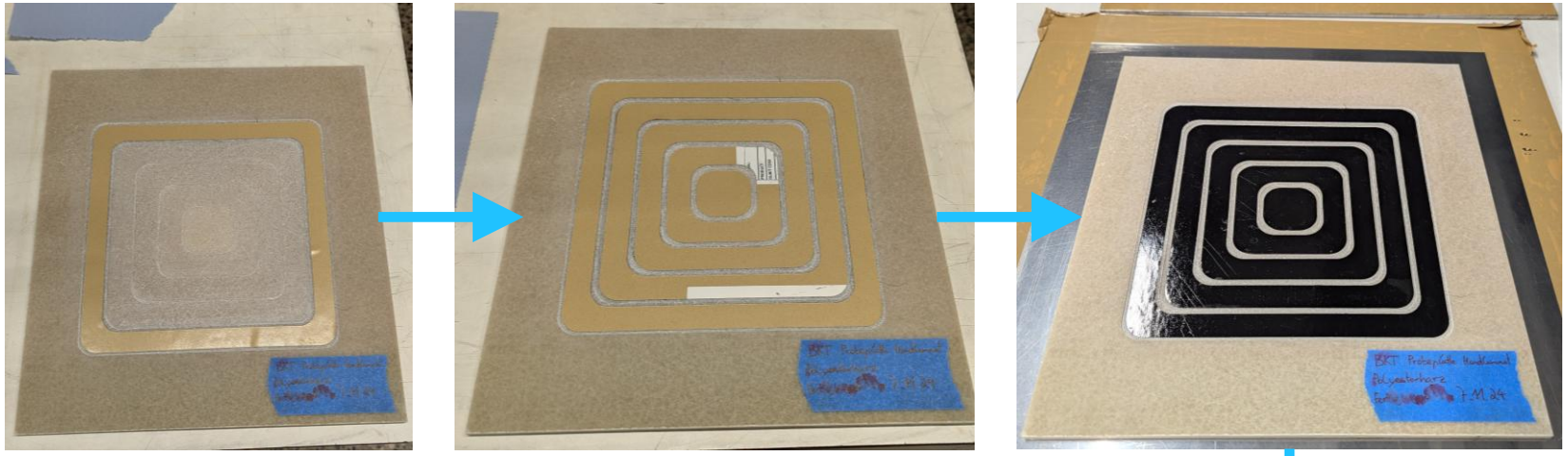


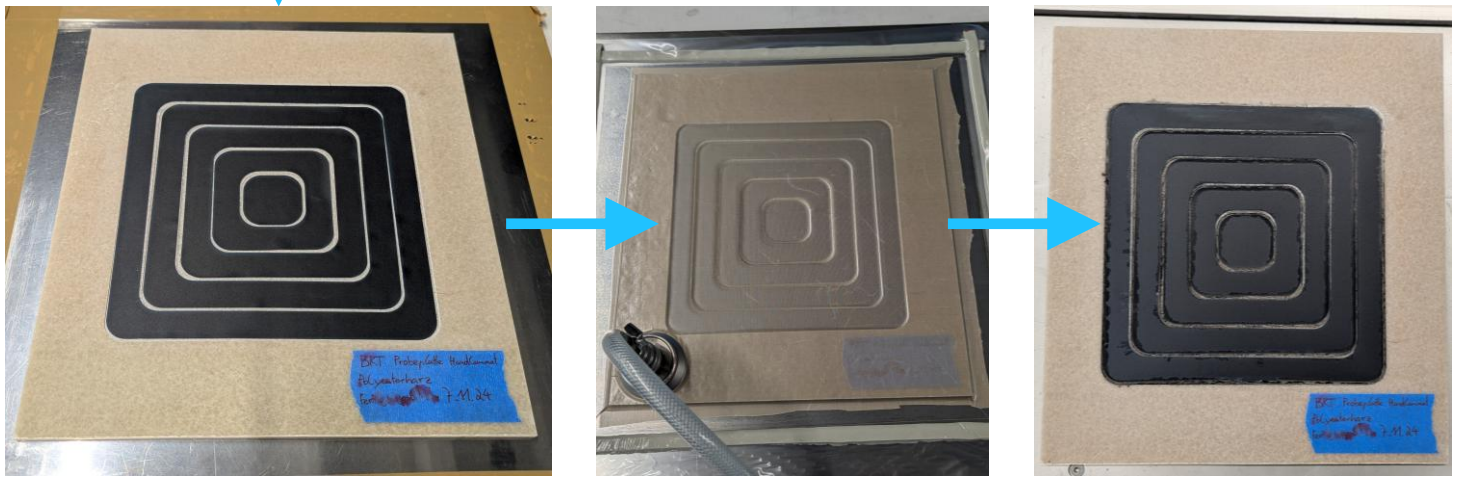
additiver Zweig

Schematischer Vergleich der manuellen und der additiven Reparatur



Additive Reparatur-Demonstrator







Oberflächenrückführung und Druckvorbereitung

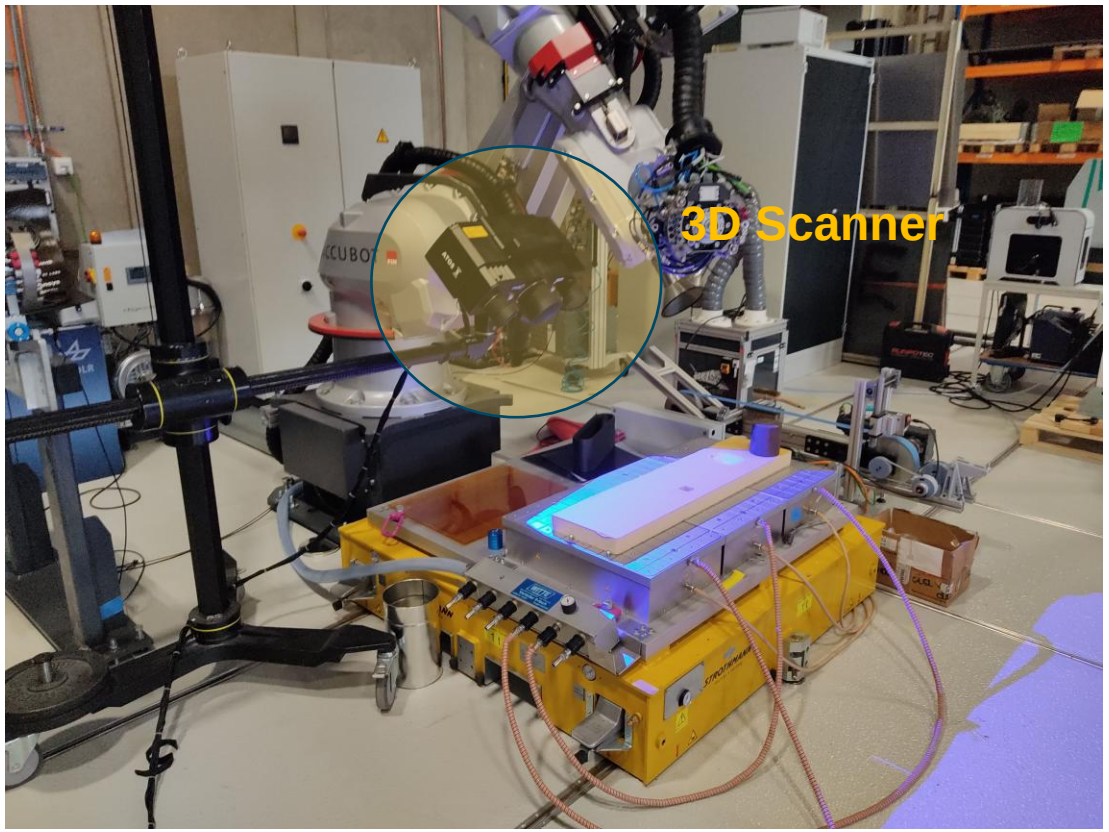
Zu lösendes Problem

Arbeiten auf einer Ist-Kontur statt auf einer theoretischen Soll-Kontur (CAD)

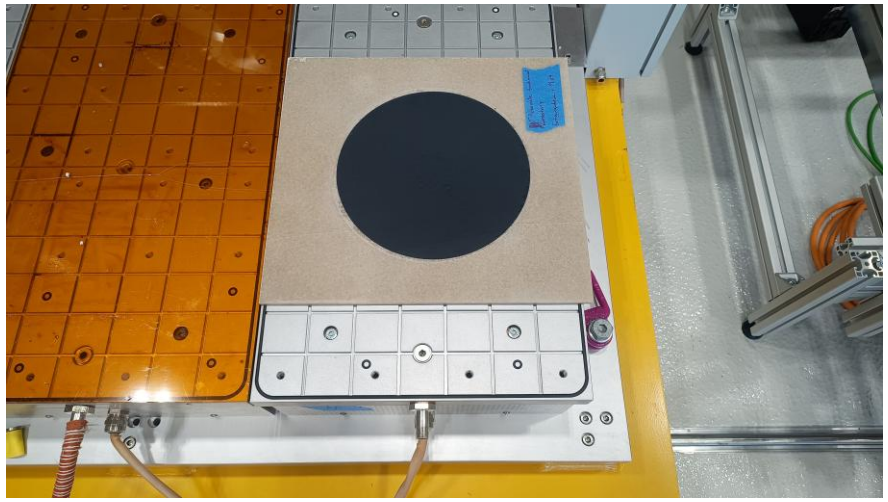
- Erfassung der Ist-Kontur durch 3D-Scanning
- Übertragung in CAM System zur Planung des AM-Prozesses

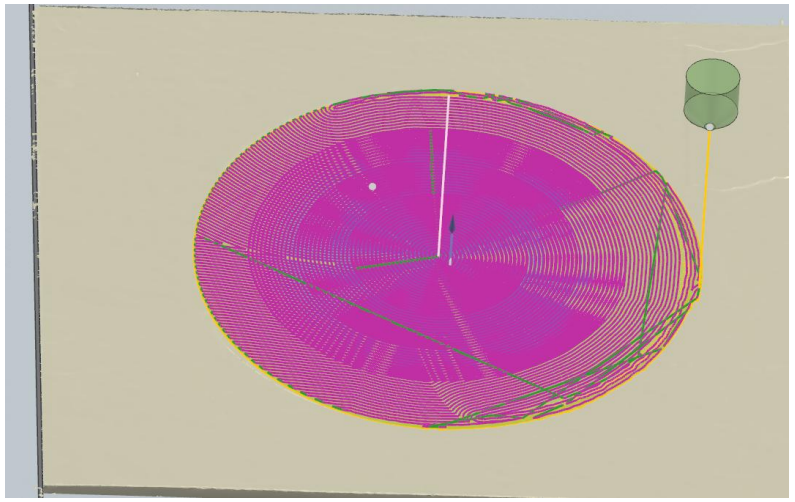
Aktueller Status

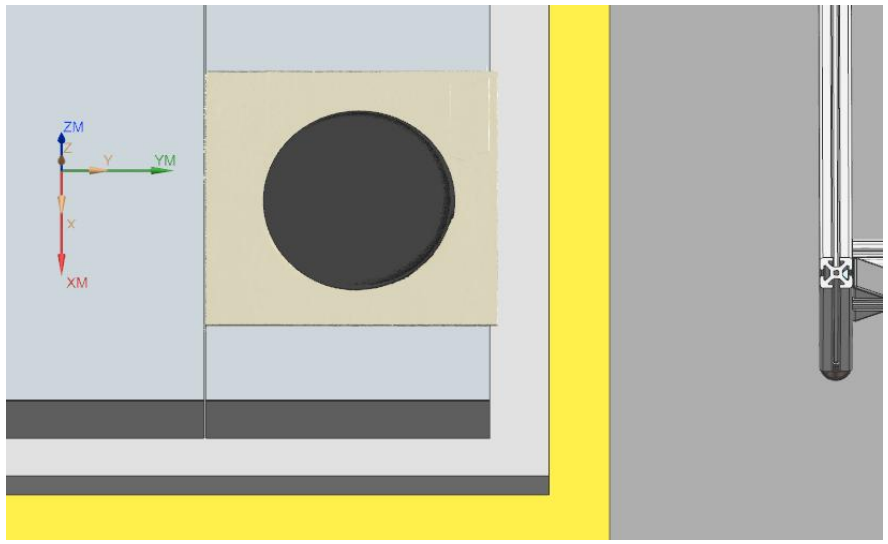
- 3D-Scanner (ATOS) zur Erfassung der Geometrie
- Mitmessen der Roboterumgebung zur Transformation in die CAM Umgebung
- Versuche mit Probestück
- Erster Demonstrator erfolgreich in CAD/CAM-Umgebung eingefügt

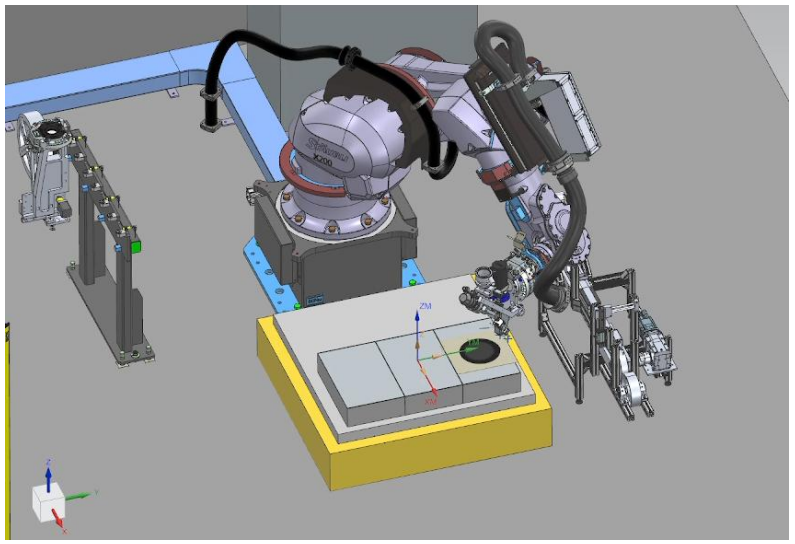


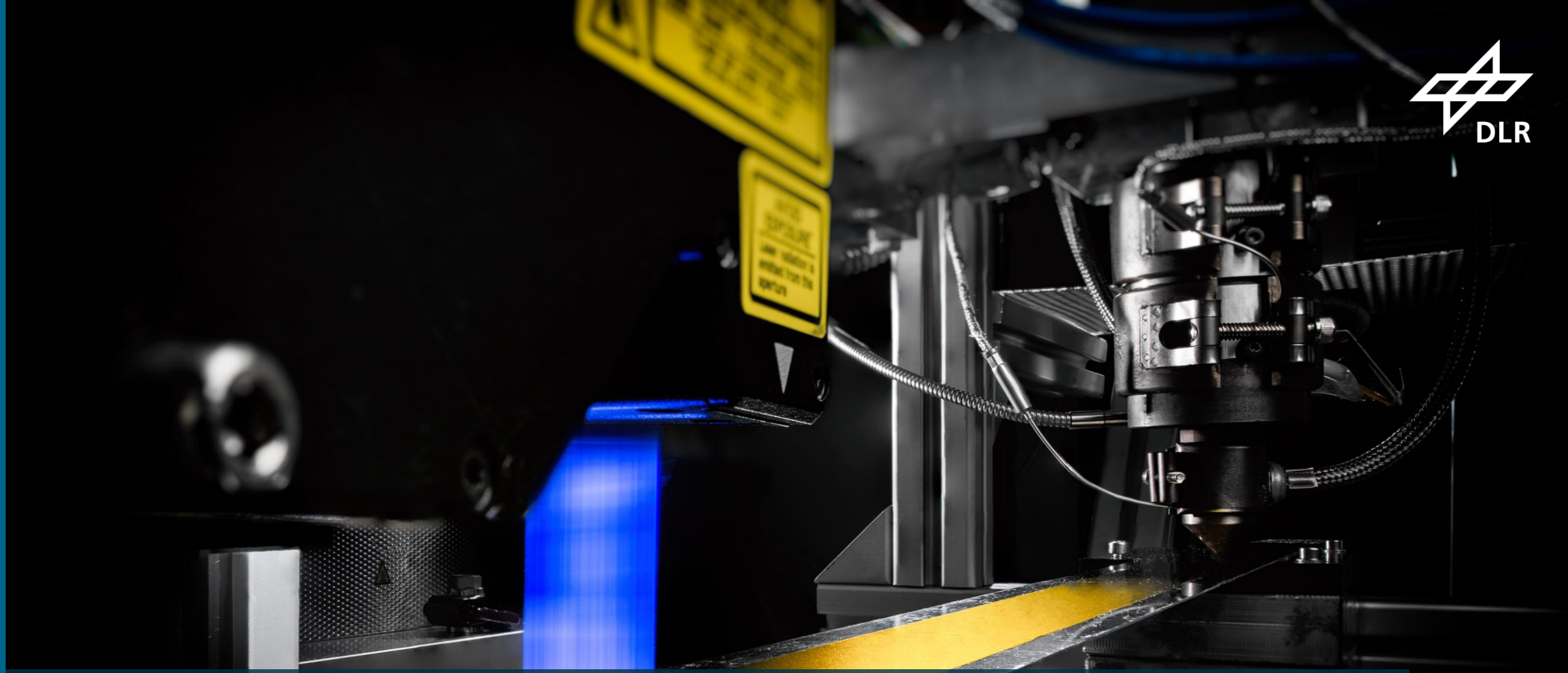
Additive Reparatur
OMM-Com – Oberflächenrückführung und Druckvorbereitung









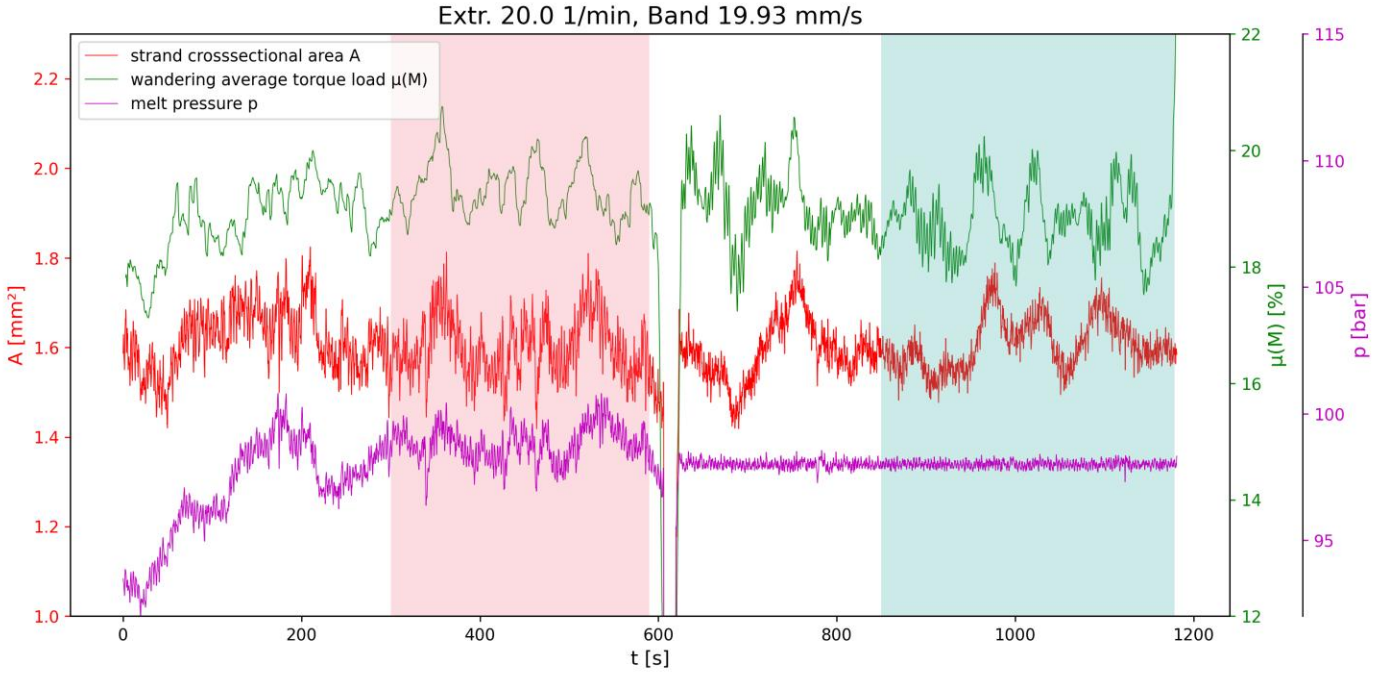


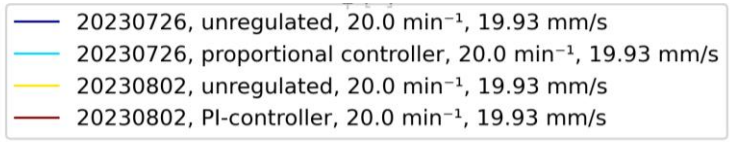
MATERIALAUFTRAG BEHERRSCHEN – PULSATION, ANFAHREN UND NACHTROPFEN

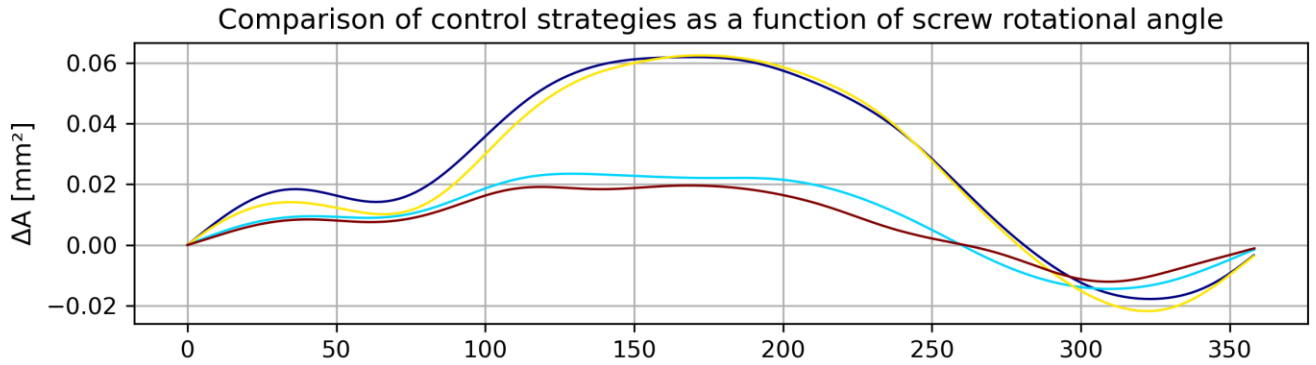
Jan-Uwe Reinhard Schmidt, Institut für Systemleichtbau, 22.10.2026

Pulsation bei der Extrusion reduzieren

- Schneckenwinkelabhängige Pulsation des Materialstroms und des Düsendrucks
- Langfristige Abweichungen des Materialstroms
- Untersuchung verschiedener Regelungskonzepte zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Pulsationen, Materialstrom-Anfahrverhalten und Nachtropfen

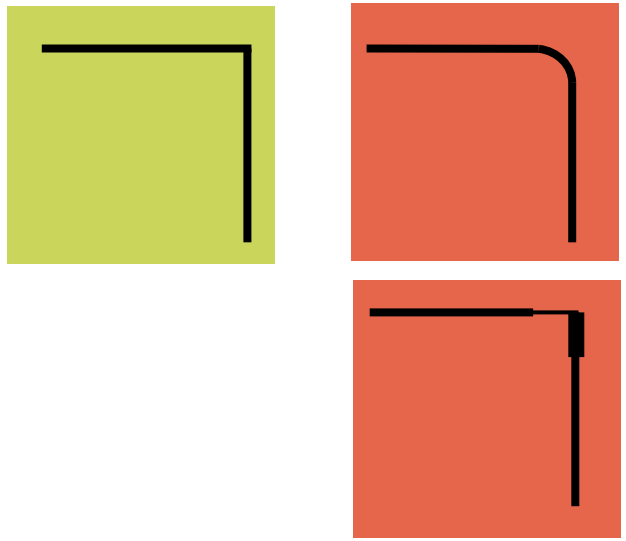


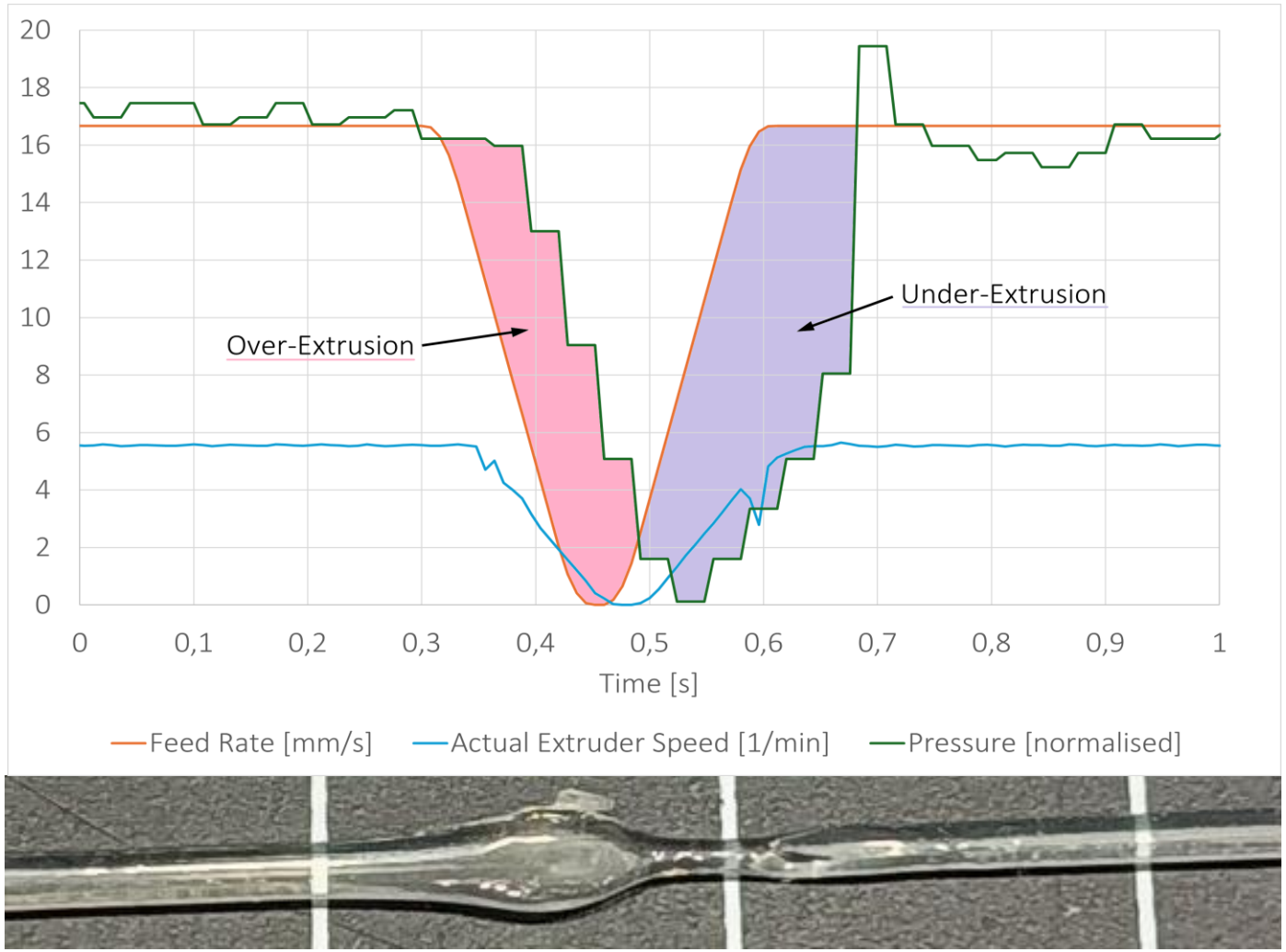


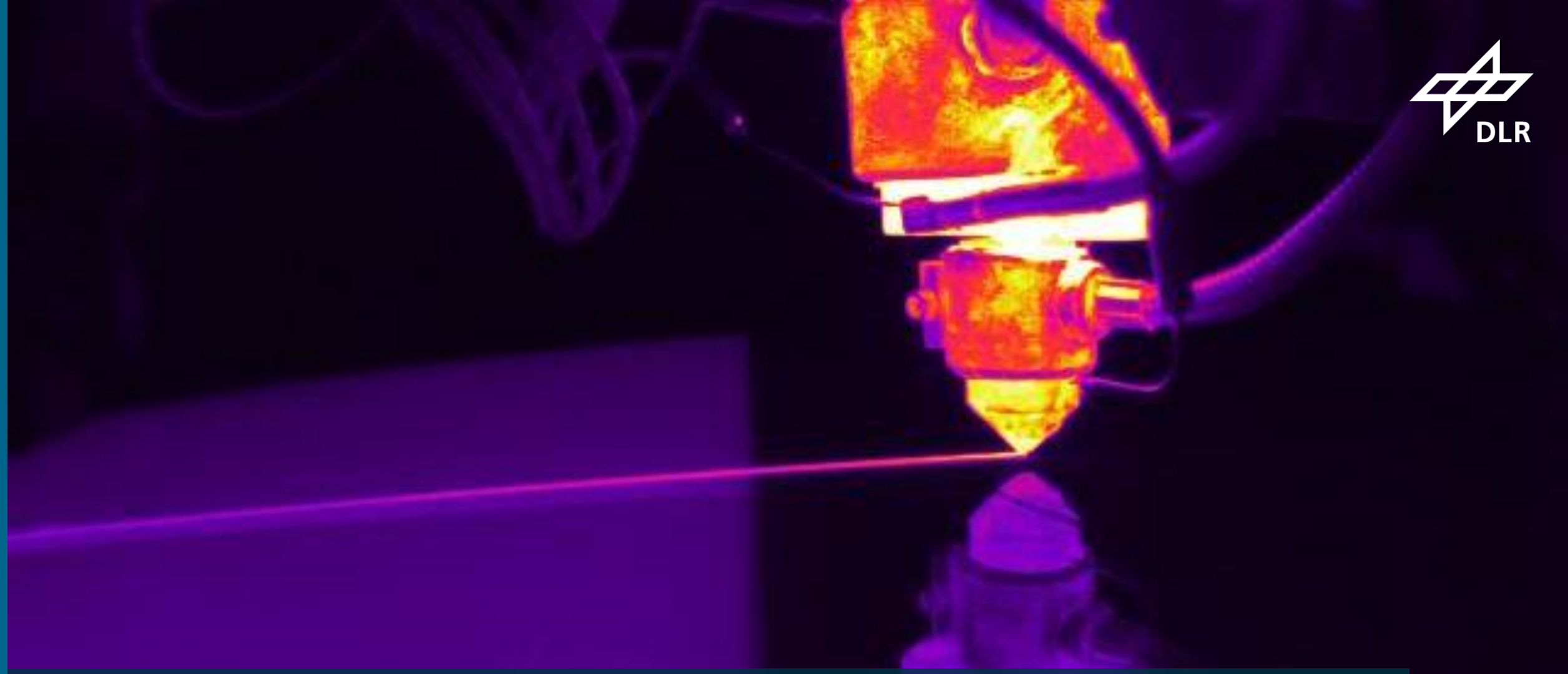


Kompensation von Über- und Unterextrusion an Ecken

- Kompensation von Anfahrverhalten und Nachtropfen
- Möglichkeit reale Ecken zu drucken



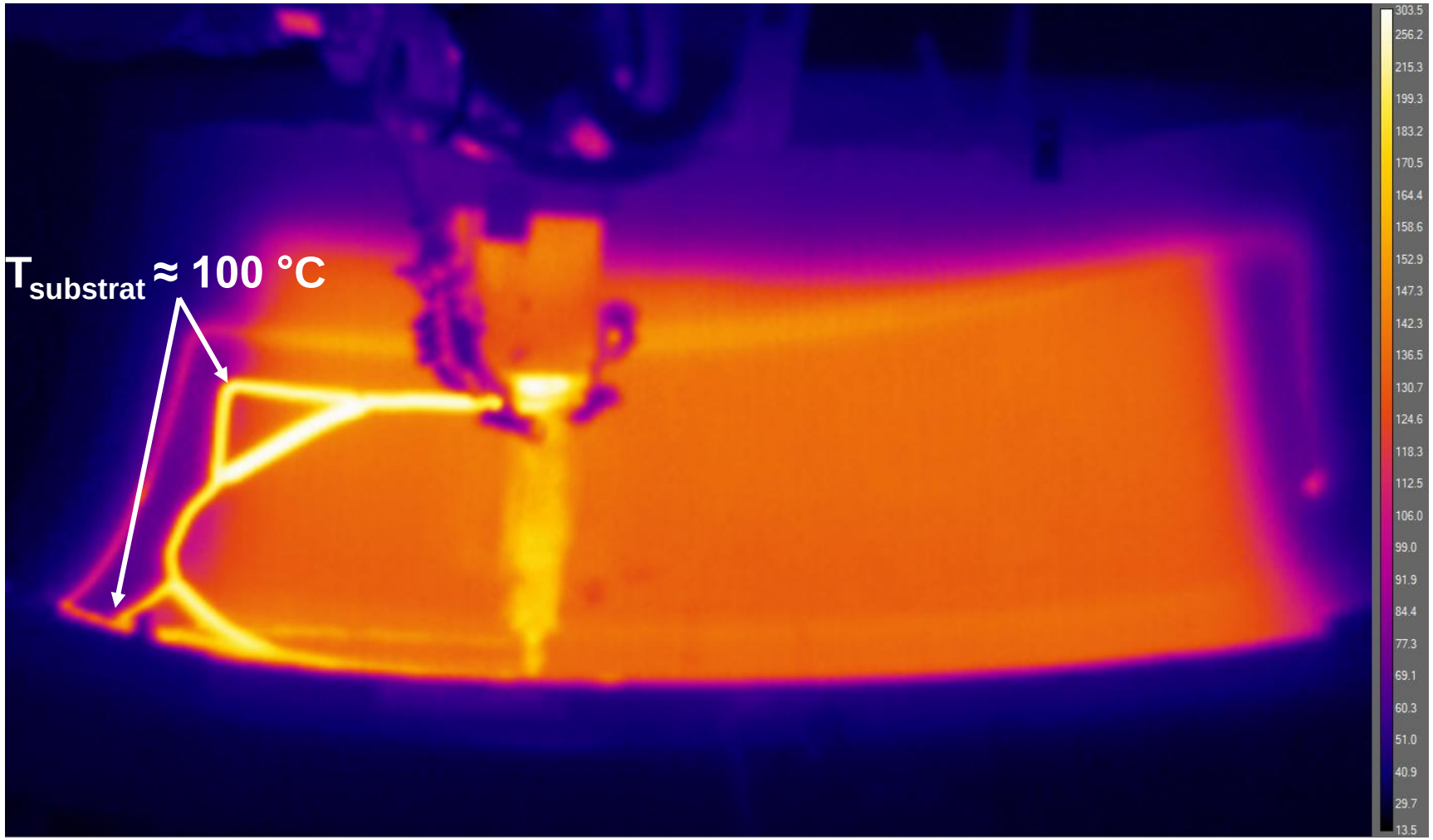




QUALITÄT BEWERTEN – THERMOGRAFIE, MATERIALMODELLE UND PROZESSDATEN

Jan-Uwe Reinhard Schmidt, Institut für Systemleichtbau, 22.10.2026

Qualitätssicherung durch Thermographie
Beispiel: EAX Demo Part



Reptationszeit PEI:

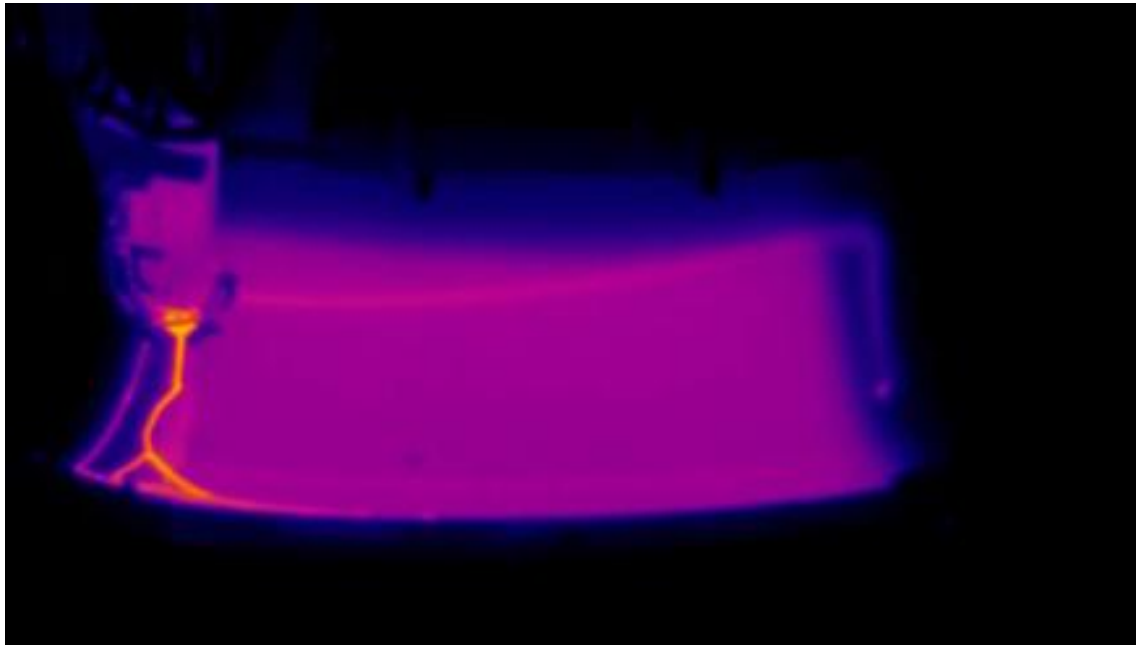
2,52 ms bei T_{Ref} = 350 °C

Ermittelte isotherme Schweißzeit bei Substrat-temperatur 100 °C:

0,00182 ms (T_{Ref} = 350 °C)

Mangelhafte Anhaftung in den untersuchten Bereichen konnte auch **thermographisch** auf Basis der Reptationstheorie **nachgewiesen** werden.

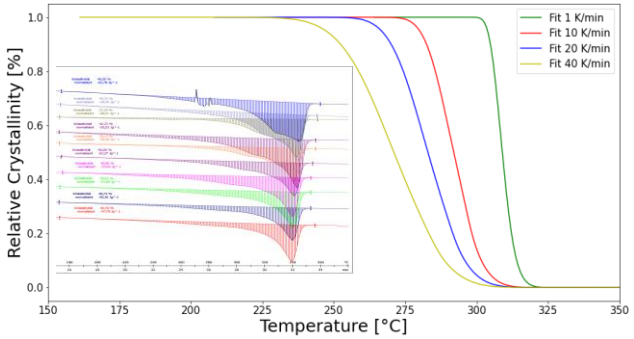
Qualitätssicherung durch Thermographie
Beispiel: EAX Demo Part



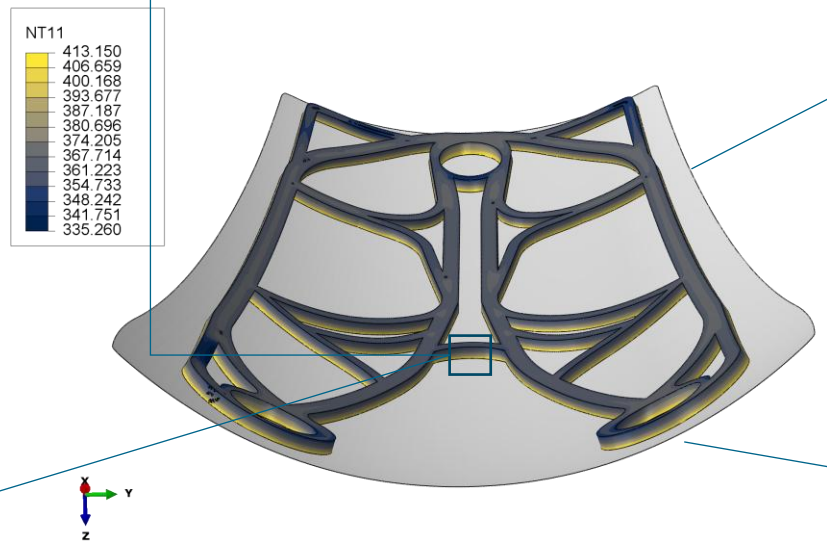


Simulation

Kristallisationskinetik

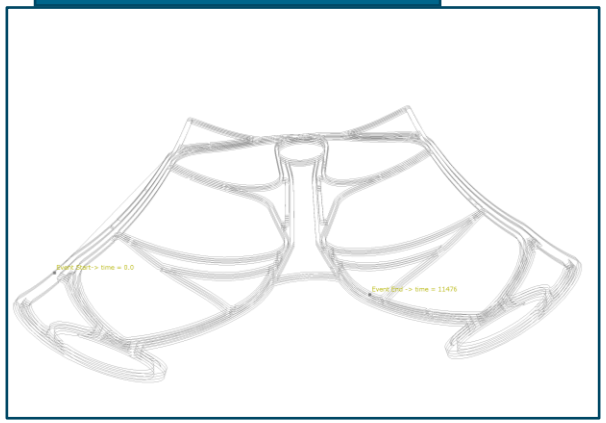


AM Prozesssimulation

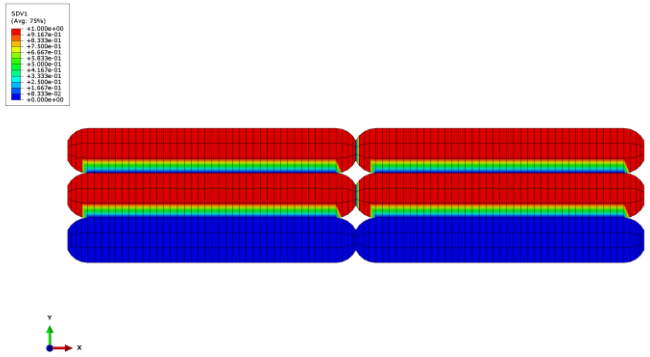


- Temperaturfelder
- Eigenspannungen
- Bauteilverzug

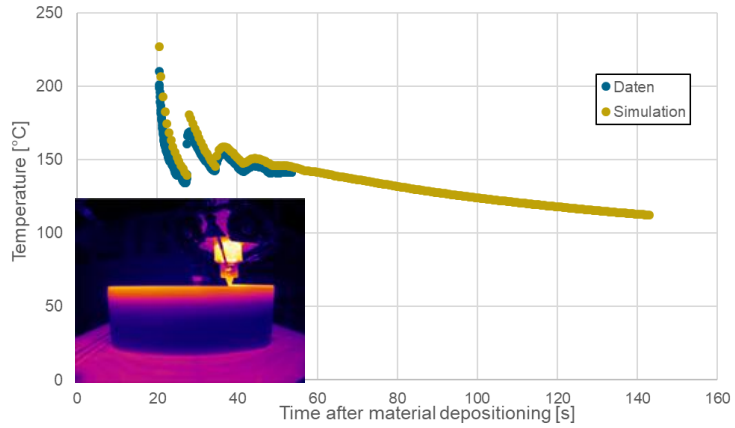
Gcode Konverter



Schichthaftfestigkeit

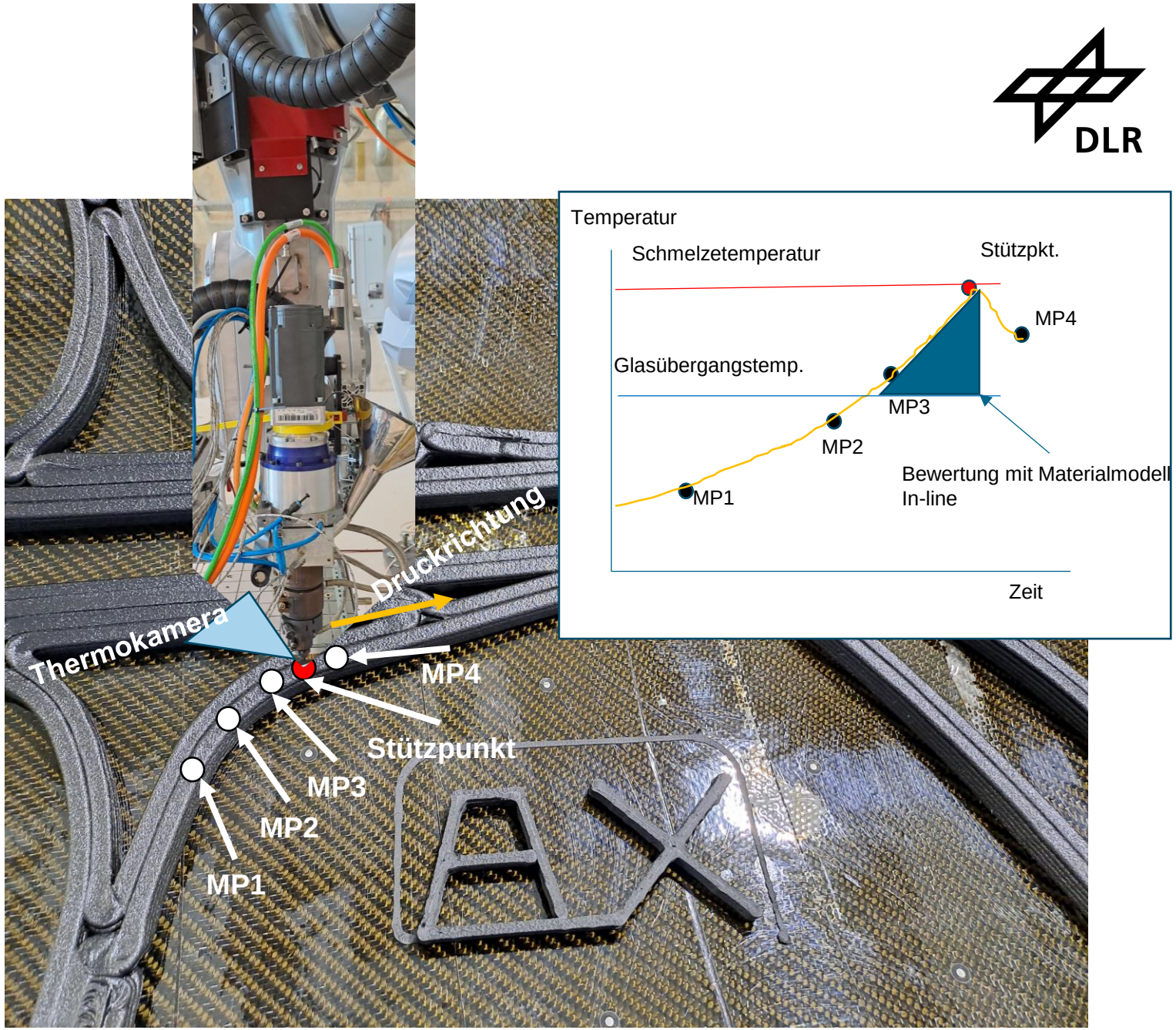


Validierung



In-line-QS

- **Ziel:** Bewertung von Schichtanhaftung und Kristallisationsgrad
- **Herausforderung:** räumlich-zeitliche Zuordnung der Messpunkte
- **Messkonzept:** Drei Messpunkte hinter dem Stützpunkt erfassen die Abkühlung, ein Messpunkt davor die Substrattemperatur.

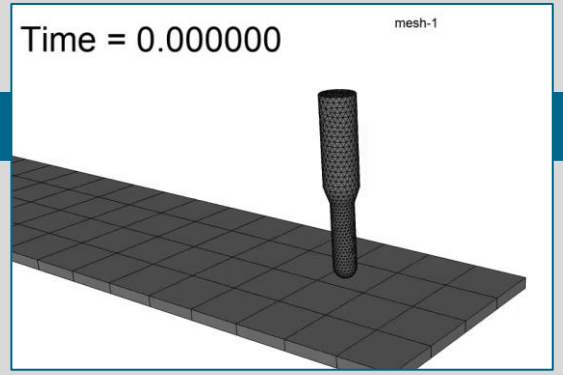


Perspektive: Externe Substrattemperaturregelung

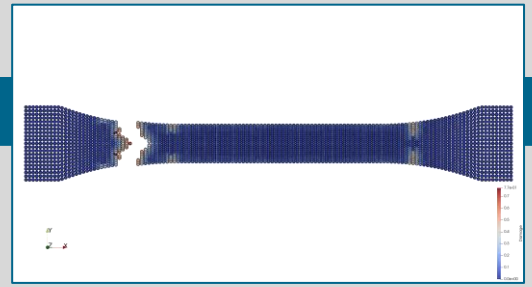
Simulationsgestützte Qualitätssicherung

Offline-Prozess

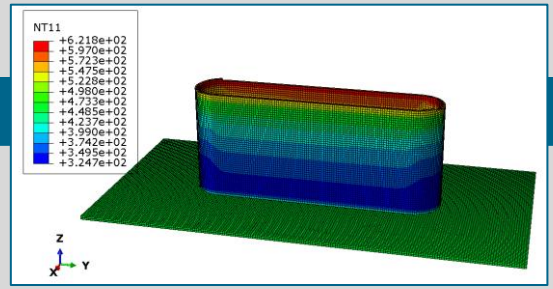
Analyse der Strangbildung zur Ermittlung optimaler Maschinenparameter



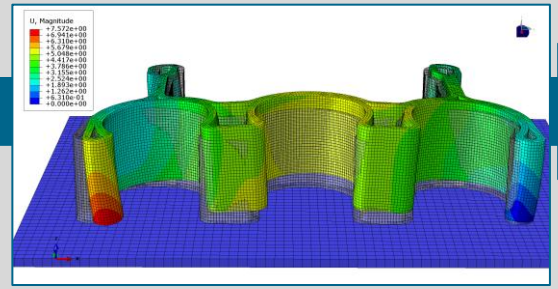
Virtuelle Materialcharakterisierung zur Reduzierung des Prüfaufwands



Analyse der Temperaturverteilungen zur Ermittlung optimaler Prozessparameter

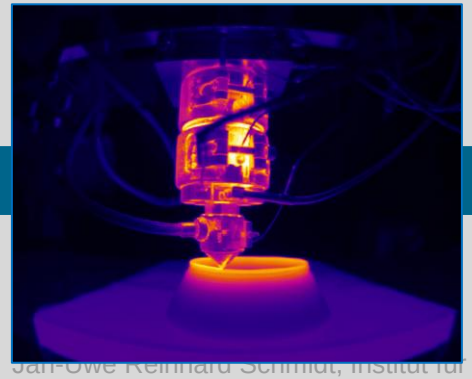


Analyse der Bauteilverformungen zur Einhaltung der geforderten Bauteilabmessungen

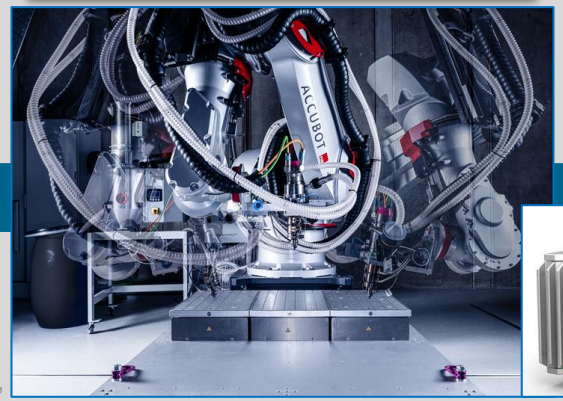


Online Prozess

Temperaturüberwachung mittels Thermografiekamera

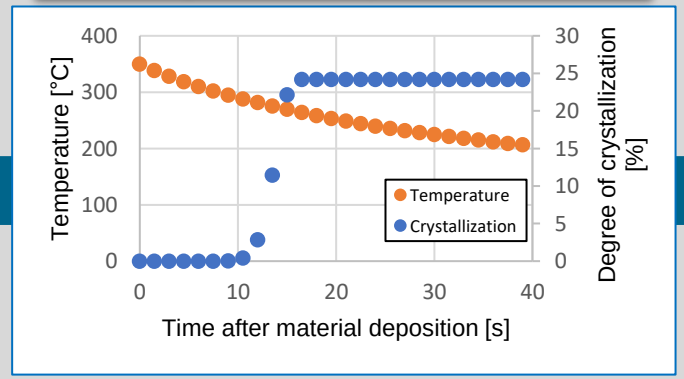


Siemens Edge Device Integration



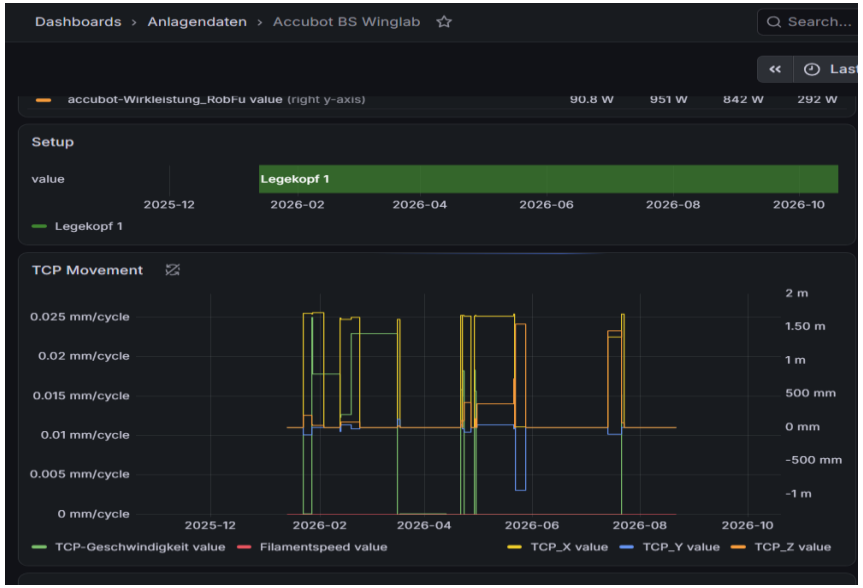


Entwicklung von In-situ-Methoden zur Bewertung wichtiger Eigenschaften (Schichtanhaftung, Überhitzung, Kristallisation)



Cloud- und Edge-Anbindung zur Prozessdatenerfassung und -analyse

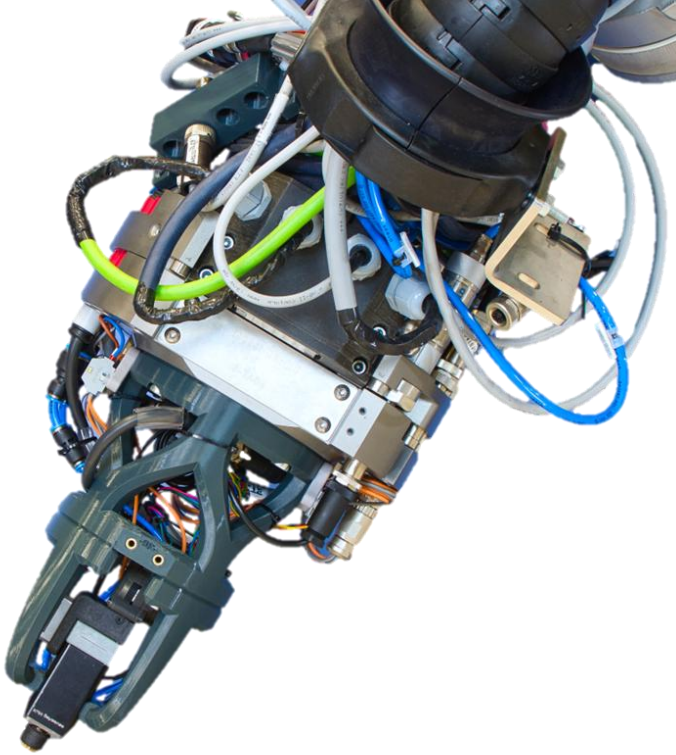
- **Cloud:** Kontinuierliche Speicherung von NC- und PLC-Prozessdaten
- **Visualisierung:** Grafische Darstellung und Analyse der Prozessdaten
- **Edge:** Lokale Vorverarbeitung der Prozessdaten







Zusammenfassung



- **Flexible Fertigung:** Robotisches Überdrucken komplexer Strukturen mit kurz- und endlosfaser-verstärkten Materialien
- **Digitale Prozesskette:** Geometrieerfassung und CAD/CAM-Integration als Grundlage der Fertigungsplanung, demonstriert am Reparatur-Use-Case
- **Prozessregelung:** Untersuchung der Materialstrompulsation sowie der Kompensation von Anfahrverhalten und Nachtropfen
- **Datenbasierte Qualitätssicherung:** Thermografie und Materialmodelle zur Bewertung der Schichtanhaftung und des Kristallisationsgrads

Die Verknüpfung von Prozessplanung, Fertigungsdaten und Qualitätsbewertung bildet die Grundlage für eine weitergehende Prozessoptimierung



Jan-Uwe Reinhard Schmidt-Bösemann

Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e.V.
Institut für Systemleichtbau
jan-uwe.schmidt@dlr.de
+495312951512

Connect on LinkedIn:

Thank you - Questions?