



2ARMY II

Automated Additive Repair and Manufacturing System II

DI Dimitrii Nikolaev

id : [0000-0003-3877-694X](#)

Željko Šarić

id : [0000-0001-9279-2882](#)

Prof. Friedrich Bleicher

id : [0000-0003-3429-867X](#)

3. Fachtagung FORTISSIMO
Eisenstadt, 25. April 2023



 **Bundesministerium
Landesverteidigung**

 **Bundesministerium
Finanzen**



*Project 2ARMY (Proj. Nr: 873477) finanziert im Verteidigungsforschungs-Förderprogramm FORTE des Bundesministeriums für Finanzen.
Project 2ARMY II (Proj. Nr: 895157) finanziert im Verteidigungsforschungs-Förderprogramm FORTE des Bundesministeriums für Finanzen.*



2012: Rapid Equipping Force, U.S. Army [1]



2023: OpenLab Mobile, HSU/UniBw H [2]



2023: SPEE3D, Australian & British Army [3]



FDM Drucker – Kunststoffbauteile



OpenSource Hardware Maschinen – Kunststoffbauteile



DED Anlage (cold spray) – Metallbauteile

Werkstatteinheit:

- Mehrzwecknutzung: militärisch oder zivil
- Transportfähige & autarke Ausführung

Bauteile:

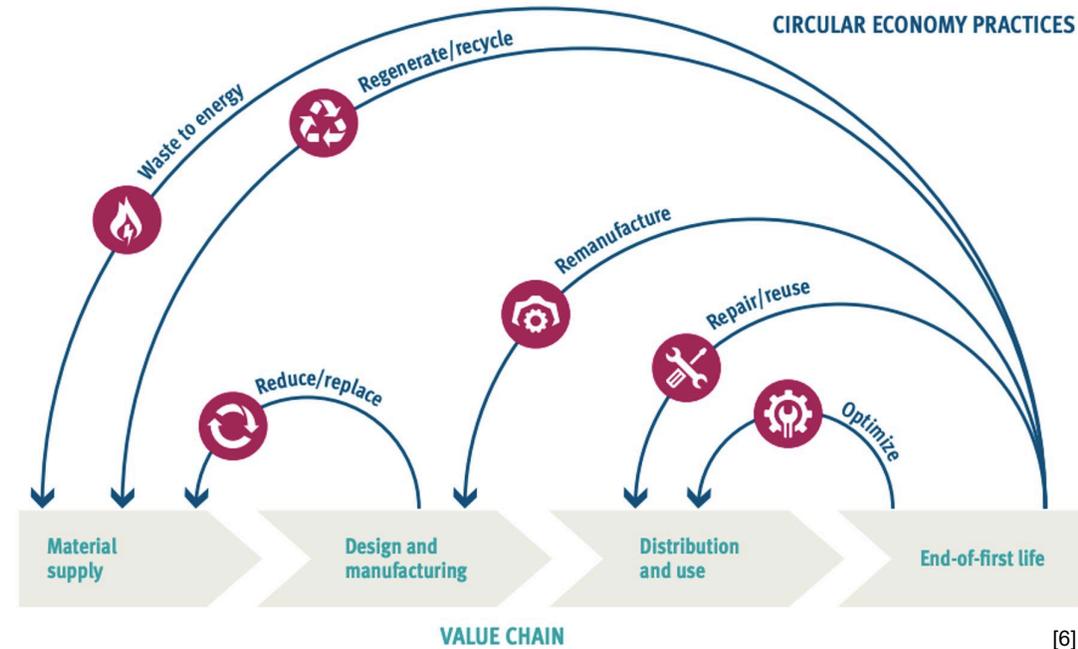
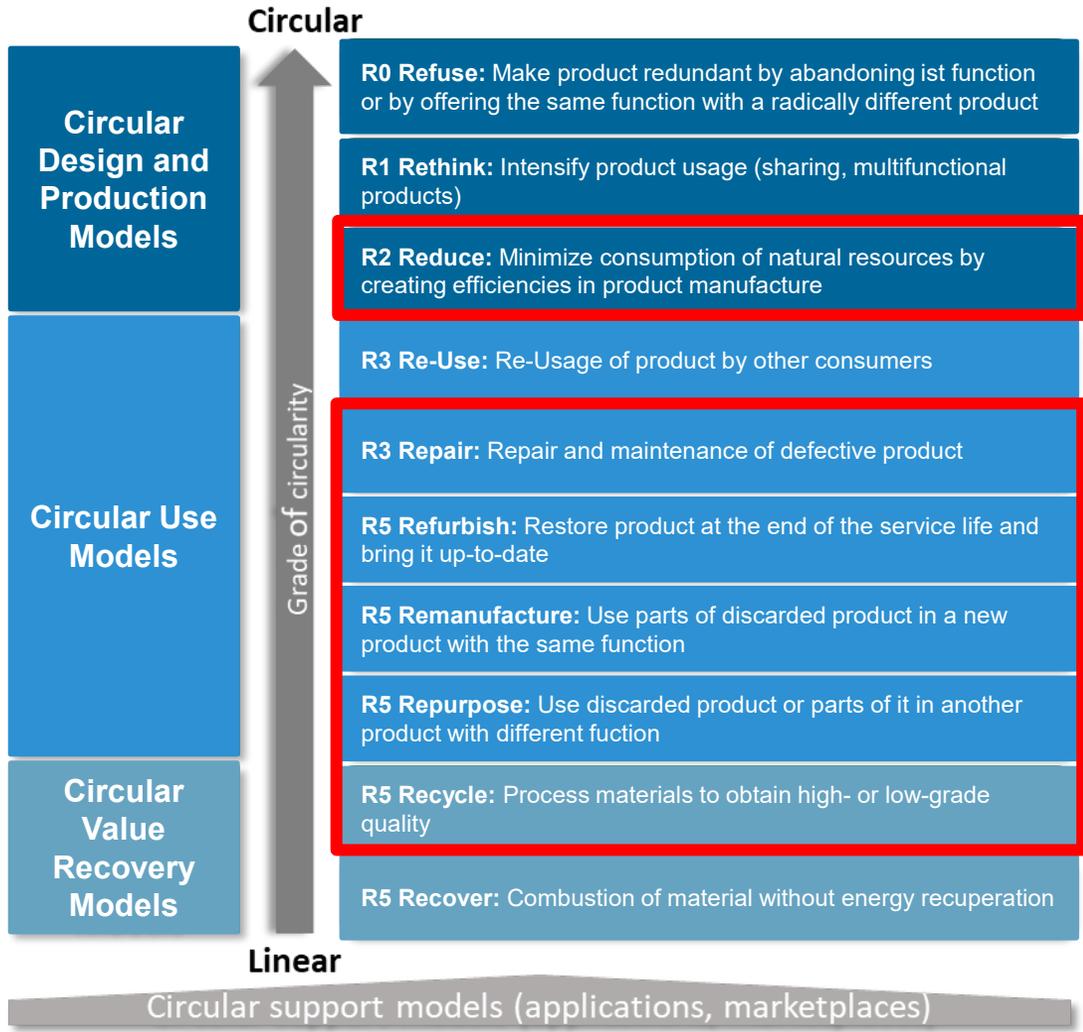
- Kurze Lieferzeit & Kurzfristige (on-demand) Verfügbarkeit

Prozess:

- Energie & -ressourcensparend

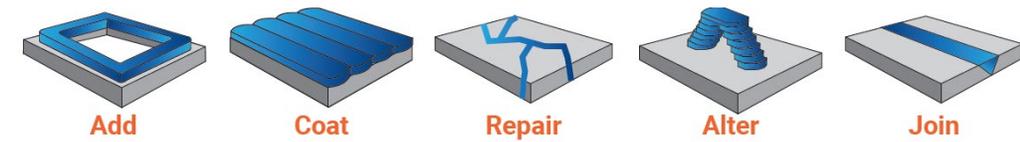


[4]



[6]

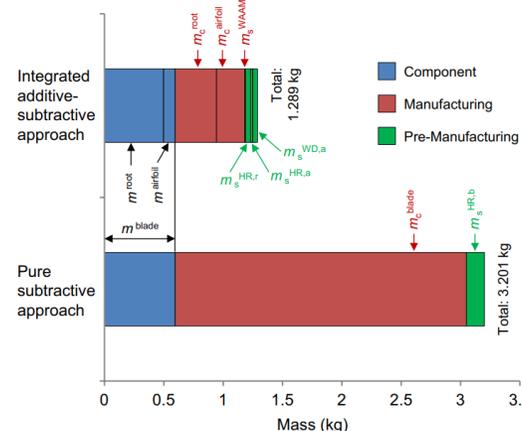
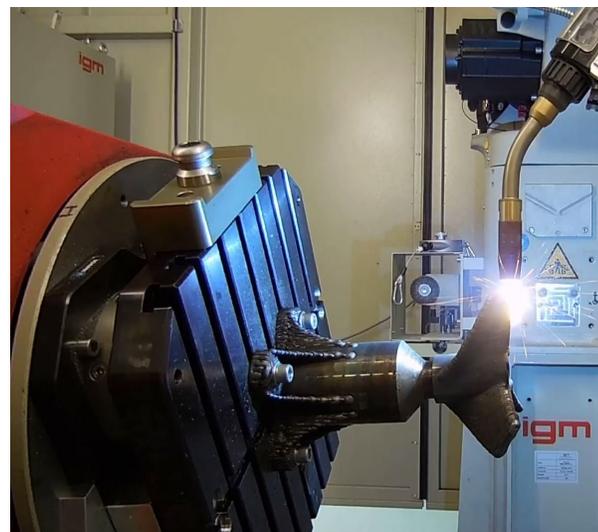
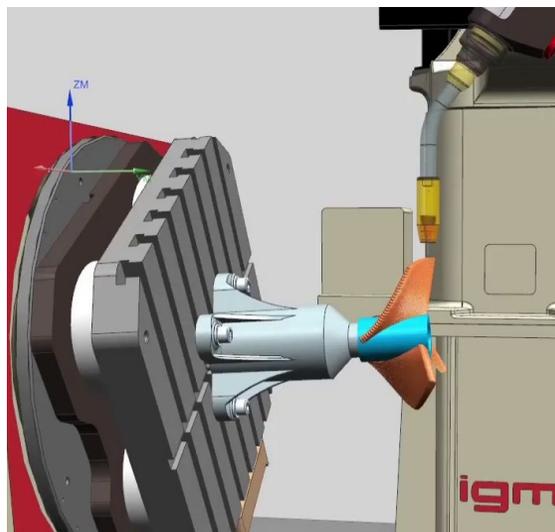
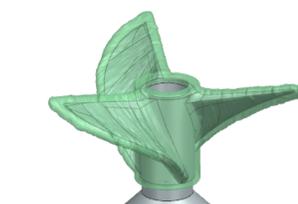
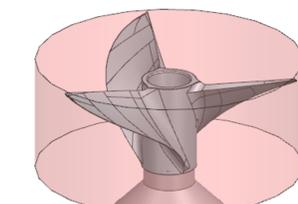
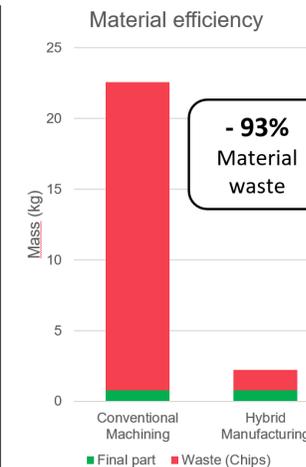
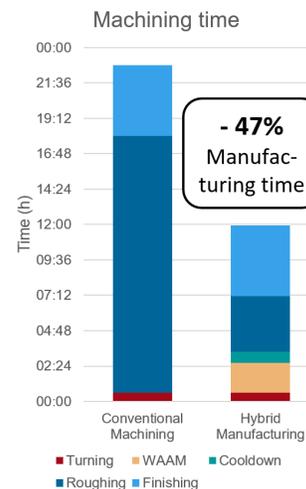
“Re-X” – processes in circular economy practices



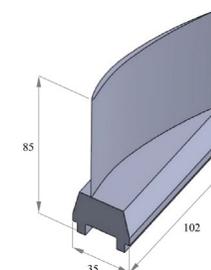
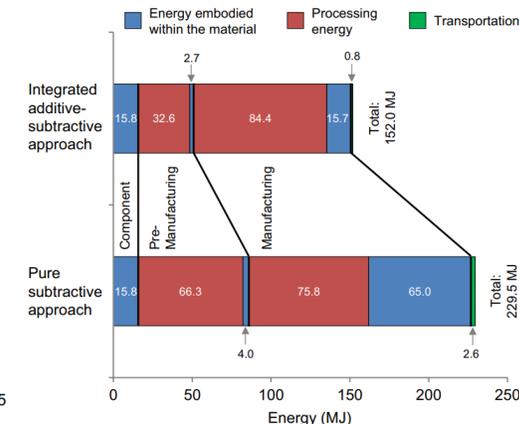
[5, s.15]

IFT: Potential von WAAM am Beispiel eines Speedbootpropellers

- Bis zu 93% weniger Materialabfall
- Um 1/3 geringere primärer Energiebedarf (prozessbedingt)
- Um 1/2 geringere primärer Energiebedarf (durch das Wiederverwerten vom Schrott)
- Einsparungspotential von 178 MJ/kg



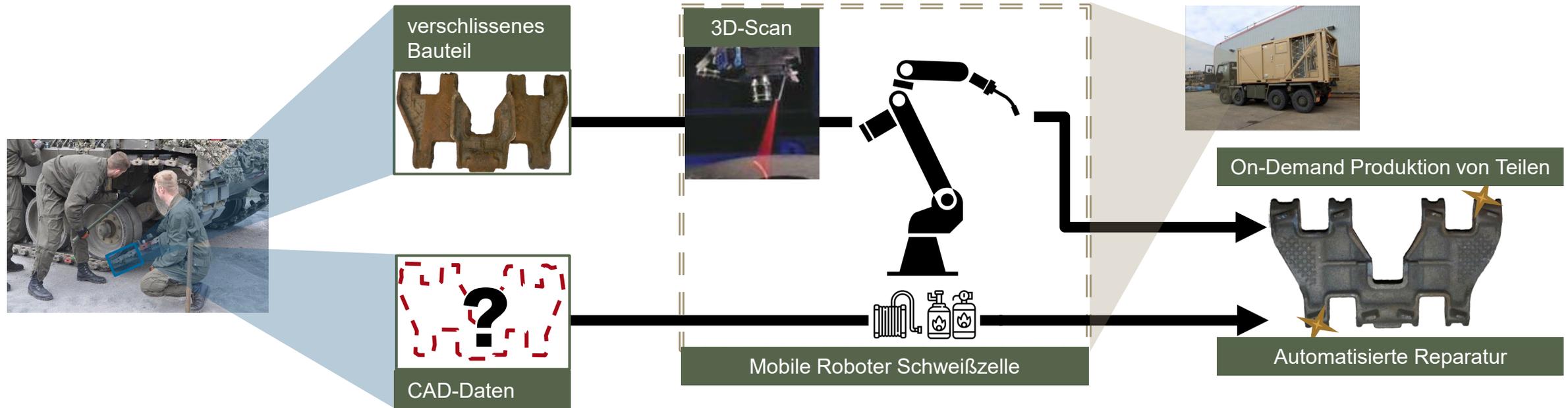
Scenario: Primary Material Production

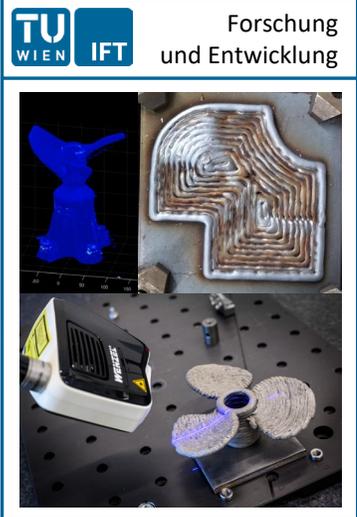


[7]

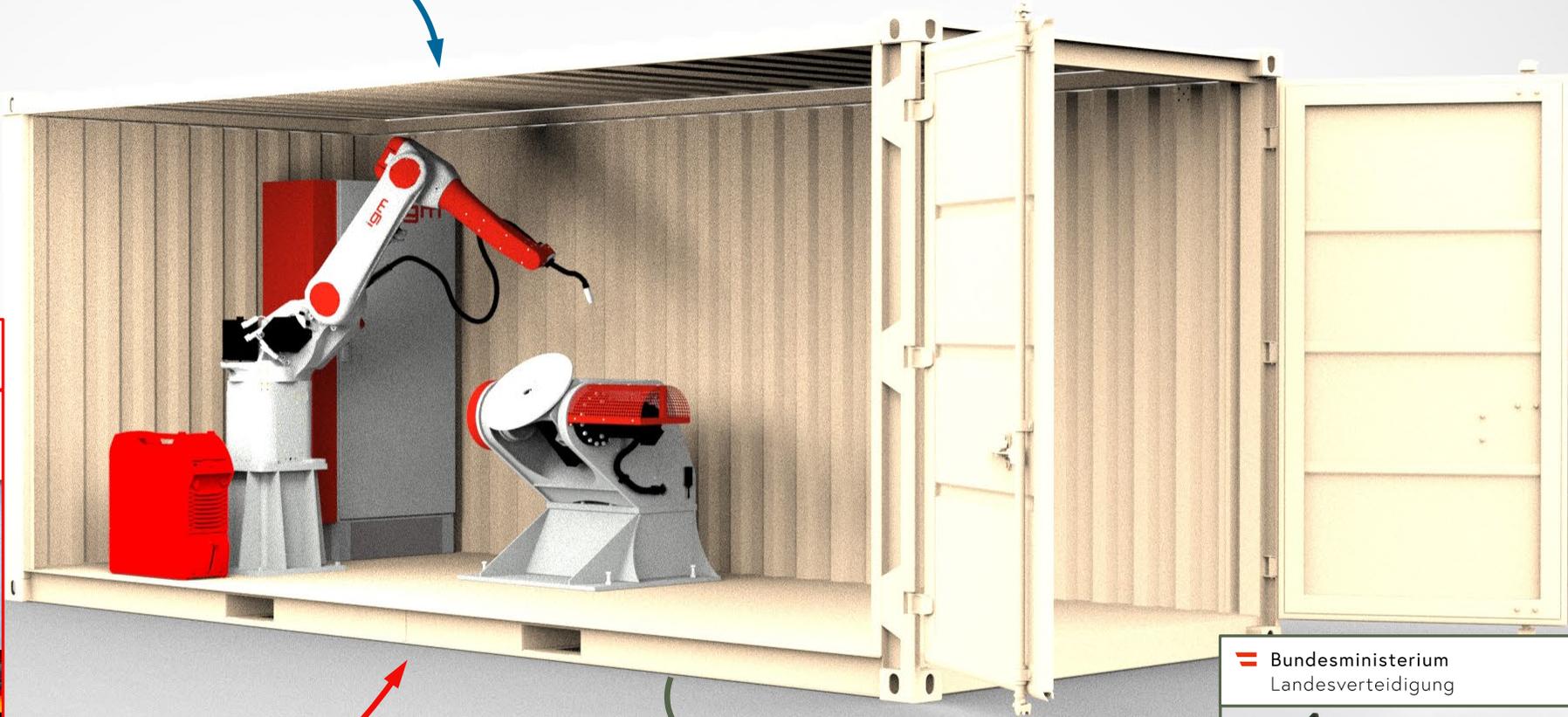
Mobile Fertigungszelle zur automatisierten additiven Reparatur und Fertigung von Teilen (Automated Additive Repair and Manufacturing System – 2ARMY)

- Mobile weitgehend autonome Roboterzelle zur Wire and Arc basierten additiven Fertigung (ausgestattet mit Sensorik zur 3D-Geometrieerfassung, Prozessüberwachung und Qualitätssicherung)
- Verschlissene Bauteile können im Feld auf Basis einer bekannten Sollgeometrie automatisch repariert werden (Auftragsschweißen)
- Metallische Ersatzteile können nach vorgegebenen CAD-Daten additiv gefertigt werden (WAAM Prozess)





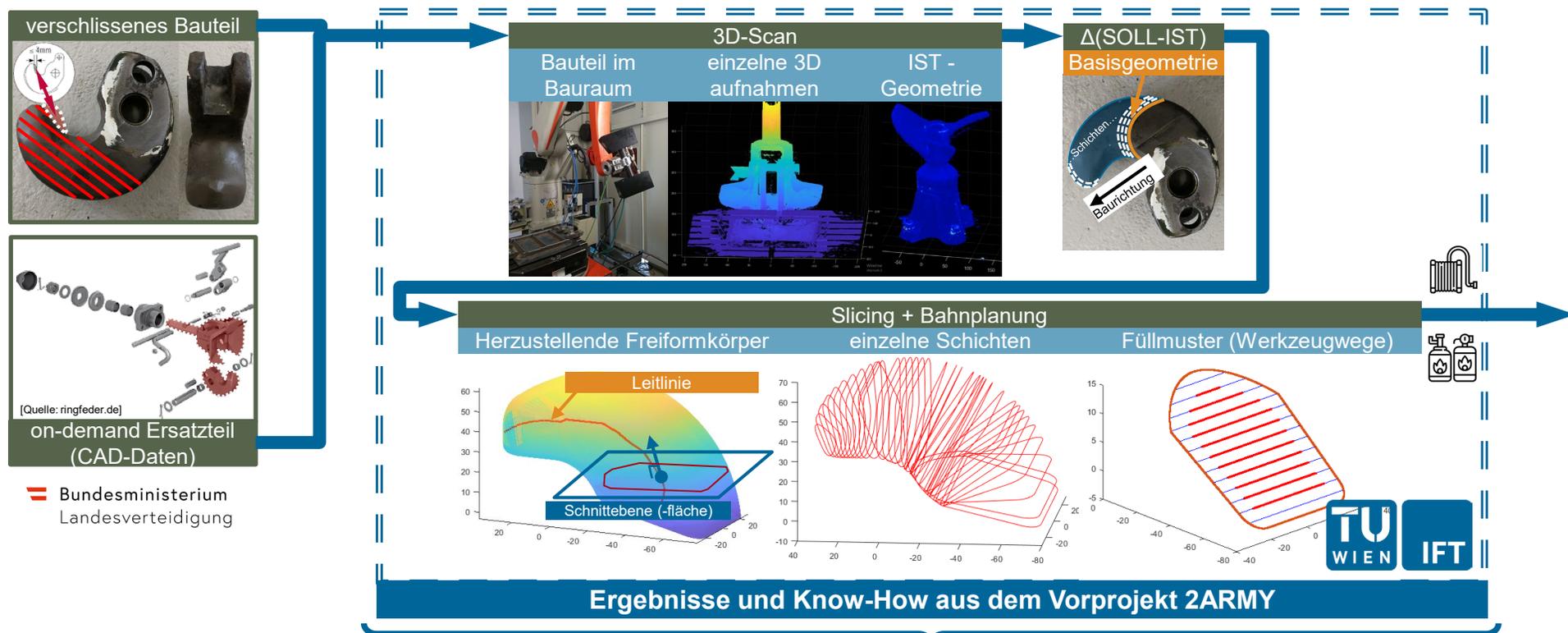
Know-how



Know-how

Erprobung
User-Experience



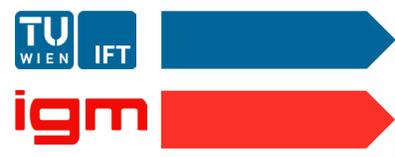


On-Demand Produktion von Teilen



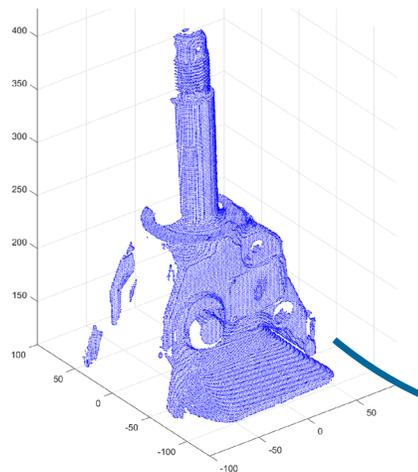
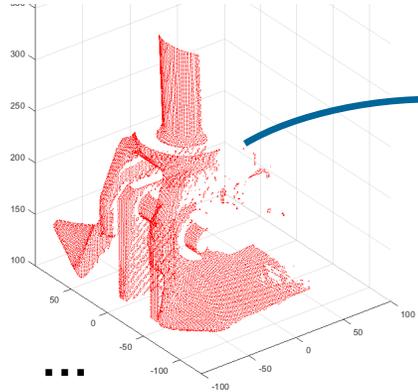
Automatisierte Reparatur

Bundesministerium Landesverteidigung

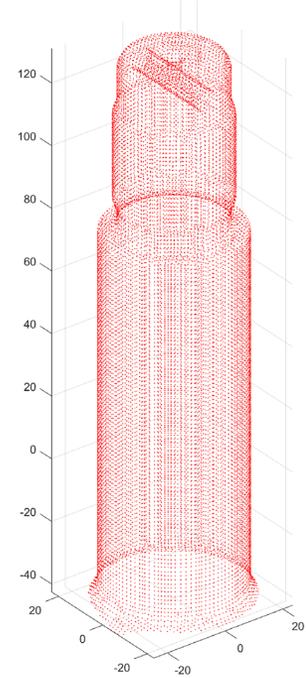
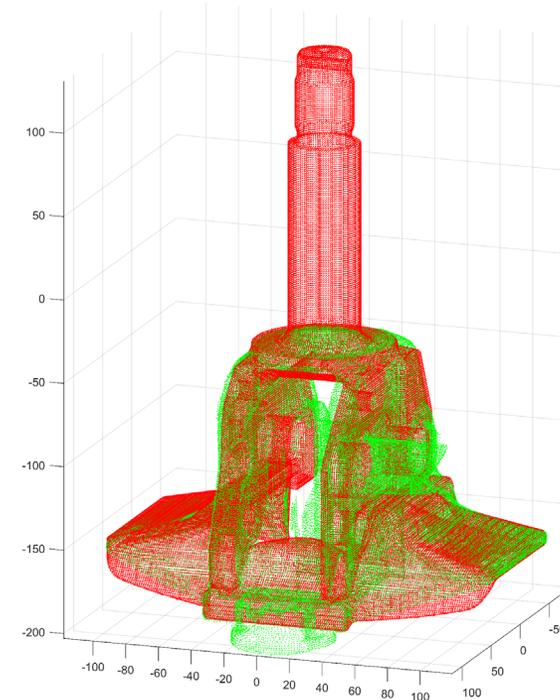
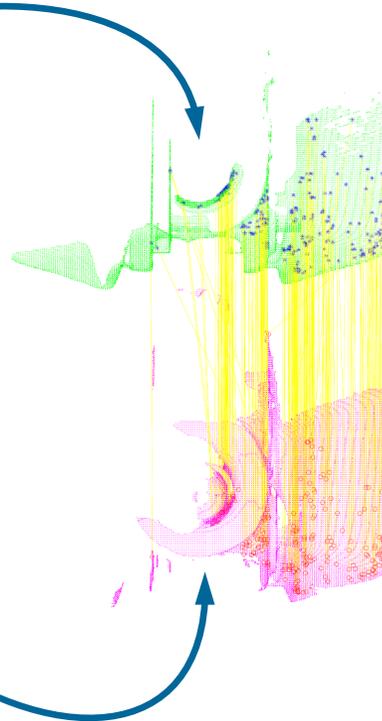




IST-Geometrie
(1. Aufnahme)



IST-Geometrie
(n. Aufnahme)



IST-Geometrie
(gescannt)
 $-$
SOLL-Geometrie
(CAD-Modell)
 $=$
Differenzgeometrie
(fehlendes Volumen)

[8]

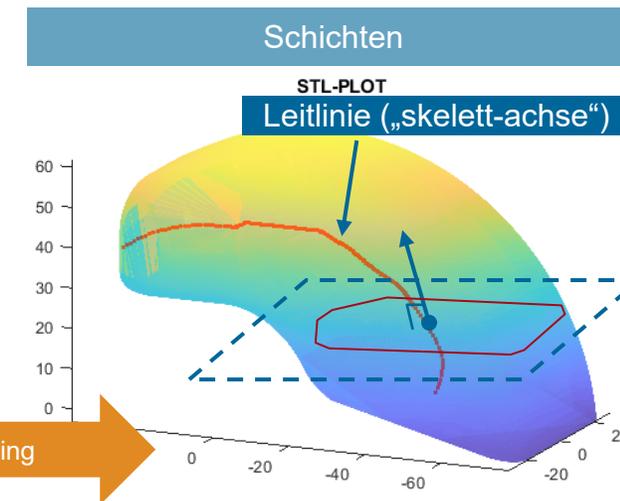
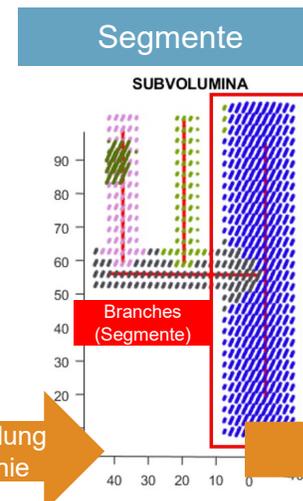
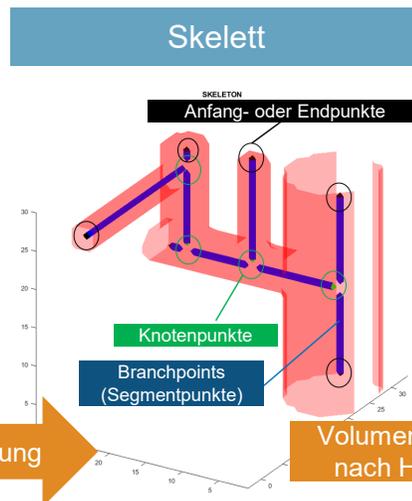
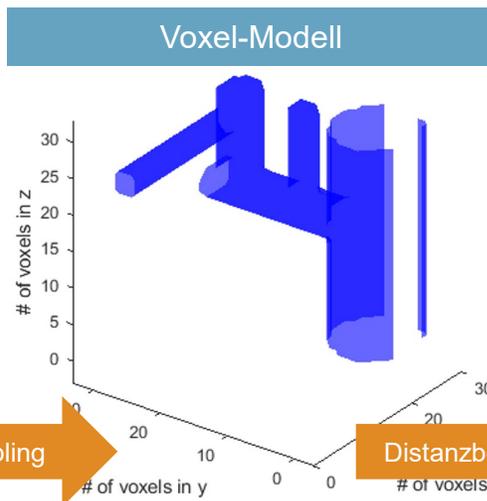
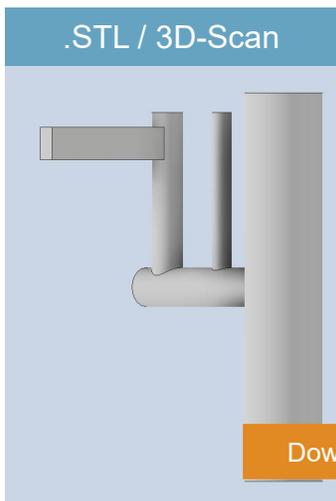
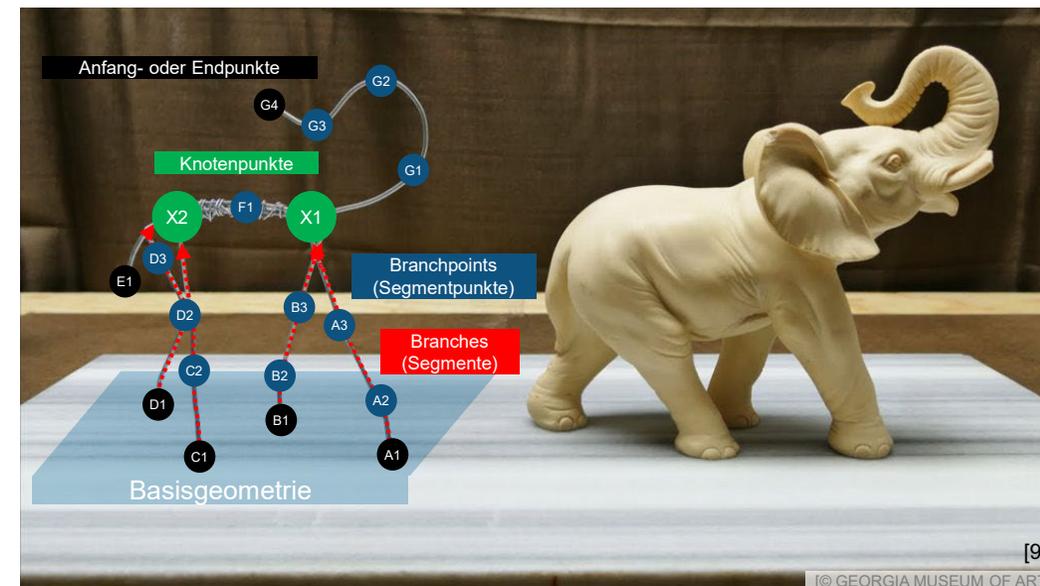
Aufteilung analog zur Skulptur auf Skelett und Körpervolumen

Skelett als Graph:

- Information über die hierarchische Anordnung einzelner Segmente
- Reihenfolge für die Bauteilerzeugung

Skelett als Raumkurve:

- Normalausrichtung für die Schnittebenen (bzw. Schnittflächen)
- Ausrichtung des Werkzeuges im Raum



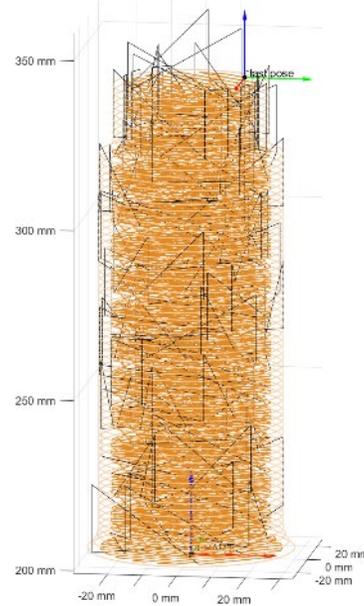
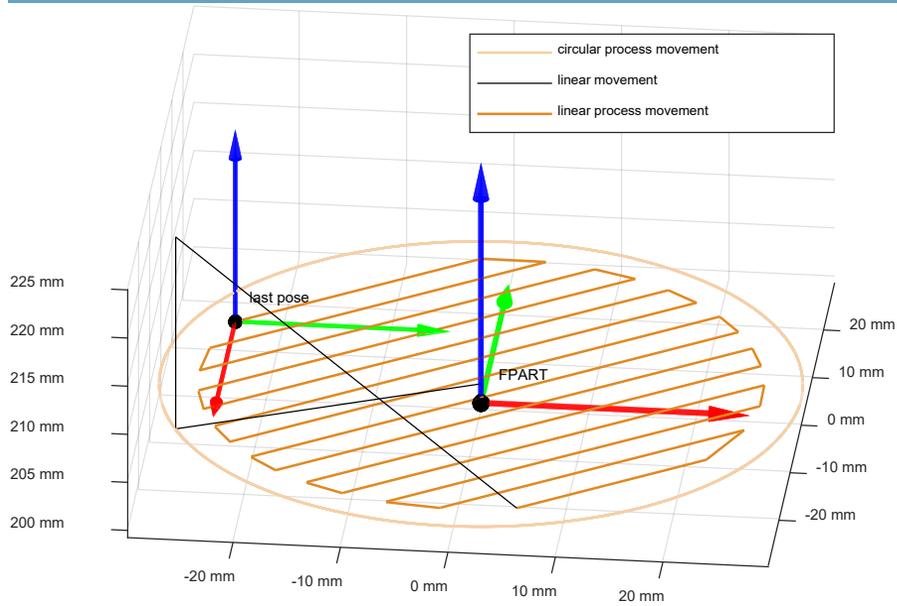
Downsampling

Distanzberechnung

Volumenaufteilung nach Hierarchie

Slicing

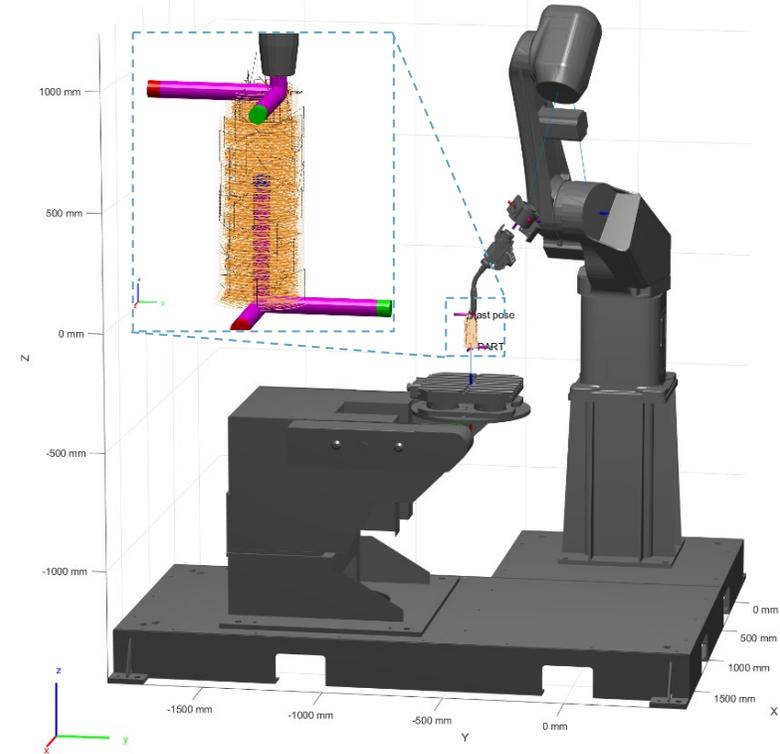
generisch (maschinenunabhängig)



inverse Kinematik

Koordinatensysteme

maschinenspezifisch



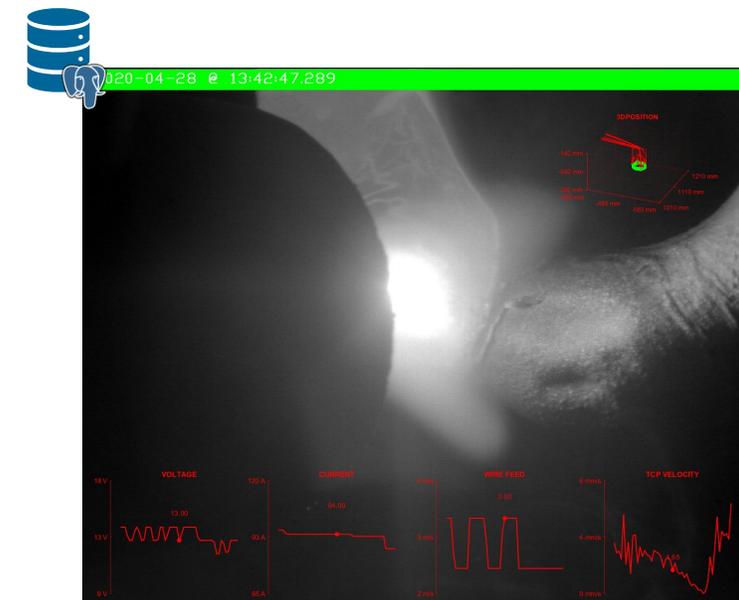
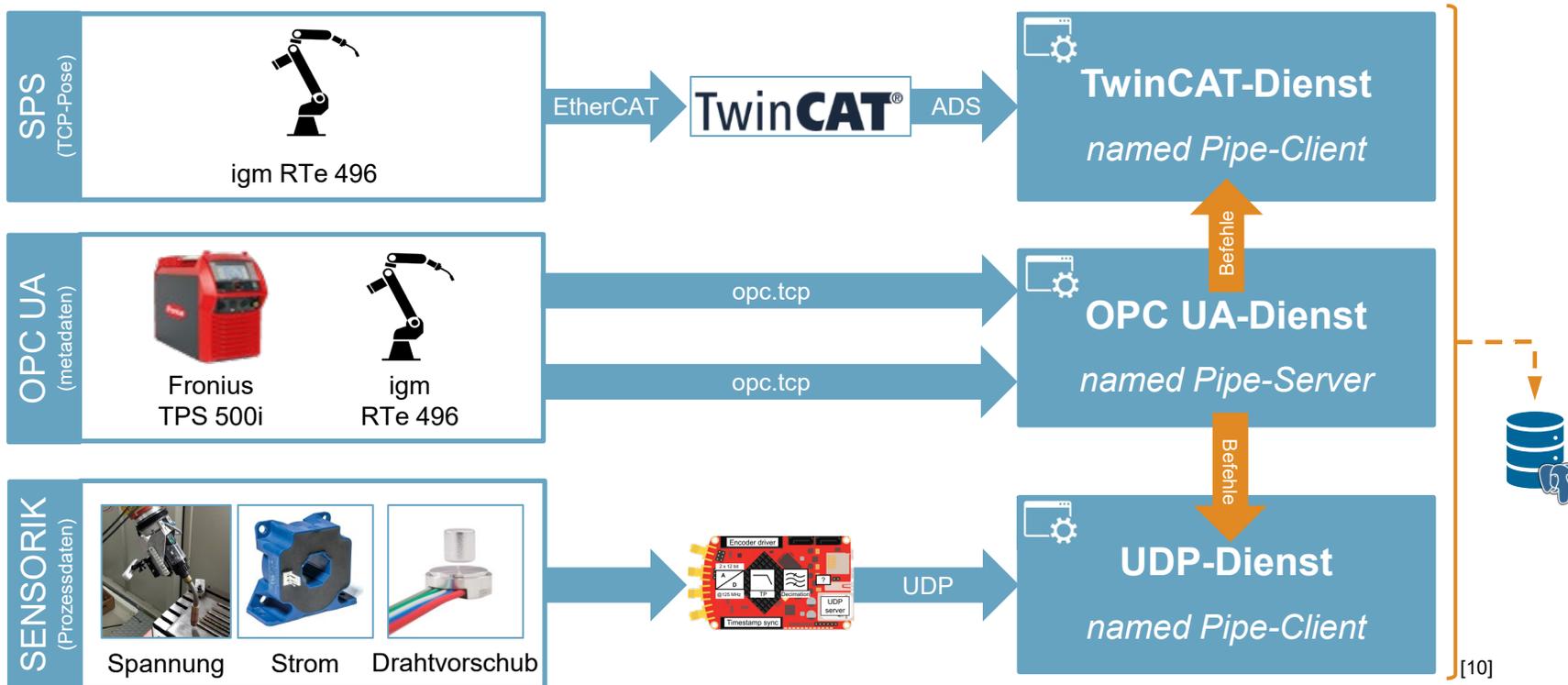
Strategie:

- Skelettachse + ebene Schnittflächen
- Zig-Zag als Füllstrategie (diverse andere Strategien sind möglich) + Randkontur

“Machine-to-machine variability must be understood and controlled.” [11, S. 15]

generische Darstellung eines Programms:

- Maschinen- und Prozessunabhängig
- Orientierung vom Werkstück – möglichst PA Position
- Orientierung vom Werkzeug – durch Lösung der inversen Kinematik für eine bestimmte Anlage



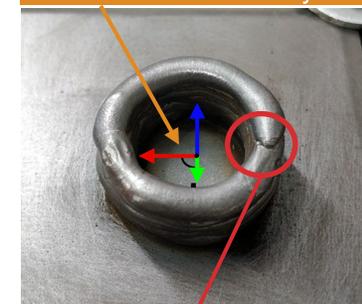
“The highest priority should be given to developing integrated in-process, sensing, monitoring, and control technologies.” [11, S. 15]

- Jedes **AM-Bauteil ist ein Unikat** per Definition → zerstörende Musterprüfung ist nicht sinnvoll
- **Zerstörungsfreie Prüfung (ZFP)** vom gesamten Bauteil ist **zeitintensiv** bzw. beschränkt möglich

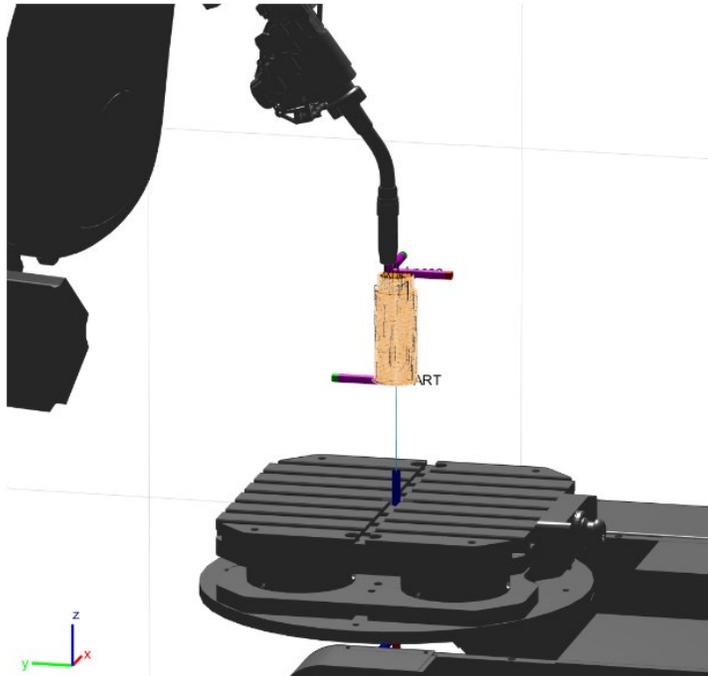
Verortete Messdaten erlauben lokale und selektive ZFP:

- **SPS** → Werkzeugpose und Zeitpunkt der Aufnahme
- **OPC UA** → Metadaten (Programmname, Koordinatensystemdefinitionen, Prozesskennlinie, etc.)
- **Prozessmessdaten** → primär (I, U, WF) und sekundär (Energieeintrag, Materialauftrag, Prozessstabilität, etc.)

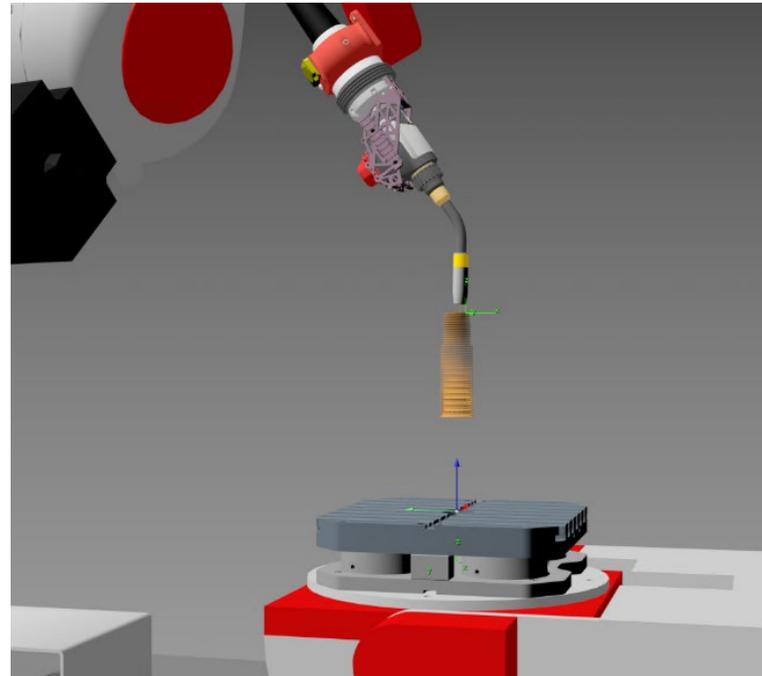
Werkstückkoordinatensystem



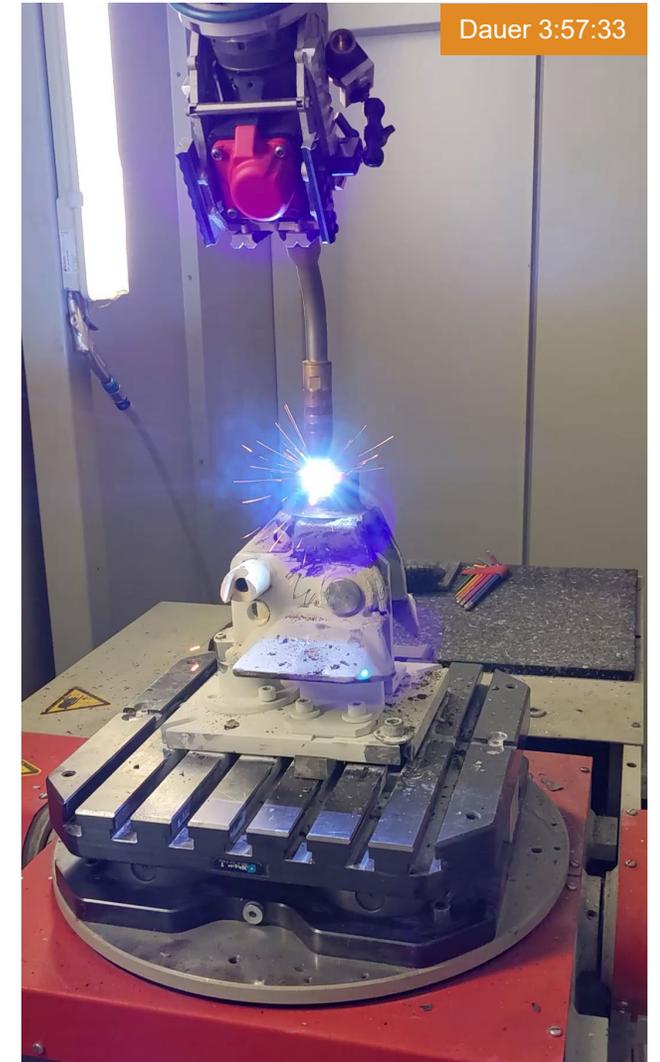
NOT AUS betätigt



Generierung: MATLAB



Validierung: igm K6 Offline



Dauer 3:57:33

Produktion: igm RTe 496SH



TU Wien Institute of Production Engineering and Photonic Technologies

Laboratory for Production Engineering

Franz-Grill-Strasse 4 Building OA

1030 Vienna

AUSTRIA

T +43 1 58801 31101

E office@ift.at



- [1] M. Cox, „Mobile Labs Build On-the-Spot Combat Solutions“, Military.com, 17. August 2012. <https://www.military.com/daily-news/2012/08/17/mobile-labs-build-on-the-spot-combat-solutions.html> (zugegriffen 7. Februar 2019).
- [2] Helmut-Schmidt-Universität, „Veranstaltungs-Rückblick: Kick-off OpenLab Mobile“, Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg, März 2023. <https://www.hsu-hh.de/veranstaltungs-rueckblick-kick-off-openlab-mobile> (zugegriffen 13. April 2023).
- [3] SPEED3D, „General Overview Presentation.pdf“, Melbourne, AU, Melbourne, AU, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.spee3d.com>
- [4] „THE 17 GOALS | Sustainable Development“. <https://sdgs.un.org/goals> (zugegriffen 13. April 2023).
- [5] J. Potting, M. Hekkert, E. Worrell, und A. Hanemaaijer, „CIRCULAR ECONOMY: MEASURING INNOVATION IN THE PRODUCT CHAIN“, Jän. 2017.
- [6] „Circular economy | UNIDO“, 2020. <https://www.unido.org/our-focus-cross-cutting-services/circular-economy> (zugegriffen 13. April 2023).
- [7] G. Campatelli, „Integrated WAAM-Subtractive Versus Pure Subtractive Manufacturing Approaches: An Energy Efficiency Comparison“, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, S. 11, 2020, doi: 10.1007/s40684-019-00071-y.
- [8] Ž. Šarić, „Entwicklung einer Routine zur optischen Geometrieerfassung für das formgebende Reparaturschweißen in einer WAAM-Roboterzelle“, Diplomarbeit, TU Wien, 2023.
- [9] Georgia Museum of Art, „Mini Animal Sculpture“, Georgia Museum of Art at the University of Georgia. <https://georgiamuseum.org/art-from-home/mini-animal-sculpture/> (zugegriffen 13. April 2023).
- [10] T. Schmid, „Entwicklung und Implementierung eines Messdatenerfassungssystems für die metalladditive Fertigung mittels Schutzgasschweißen.“, Diplomarbeit, TU Wien, 2021. [Online]. Adresse: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/79652>.
- [11] W. E. Frazier, „Direct Digital Manufacturing of Metallic Components: Vision and Roadmap“, in 21st Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, TX, 2010, S. 9–11.