

Leichtbauproduktion von morgen - Digitalisierung als Wegbereiter für nachhaltige Fertigung

Dr. Jan Stüve, Dr. Markus Kleineberg, Sven Torstrick-von der Lieth, Marc Opitz

CU Thementag „Digitalisierte Fertigung für eine emissionsfreie Mobilität“
DLR Braunschweig, 24.03.2021



Wissen für Morgen



DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Öffentlich geförderte non-profit Organisation

- Forschungseinrichtung
- Raumfahrtagentur
- Projektträger

Forschungsbereiche

- Luftfahrt
- Raumfahrtforschung und -technologie
- Energie
- Transport
- Sicherheit
- Digitalisierung (Querschnittsprojekte „Factory of the Future“, „Condition Monitoring“)



Standorte des DLR

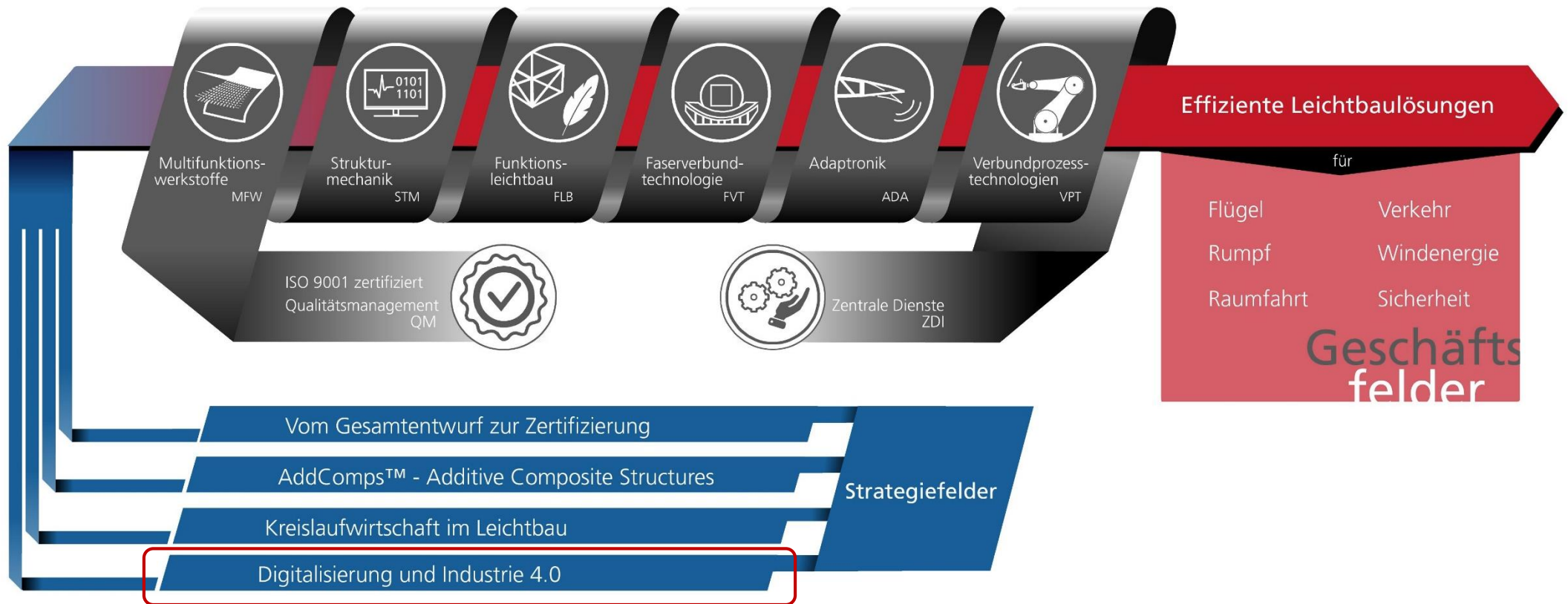


- Mehr als 9.000 Mitarbeitend
- 54 Institute und Einrichtungen
- 30 Standorte

- Auslandsbüros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington.



DLR – Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



DLR – Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

Vision



**Intelligenter Systemleichtbau
für ein emissionsfreies Morgen**

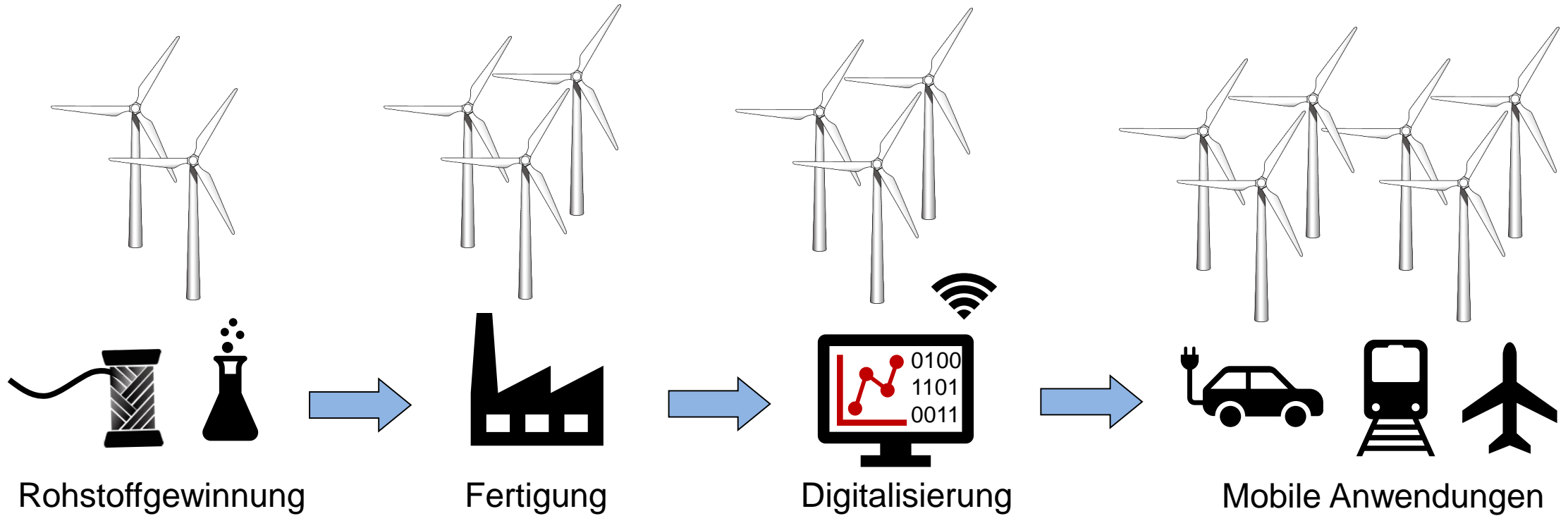
„Digitalisierte Fertigung für eine emissionsfreie Mobilität“



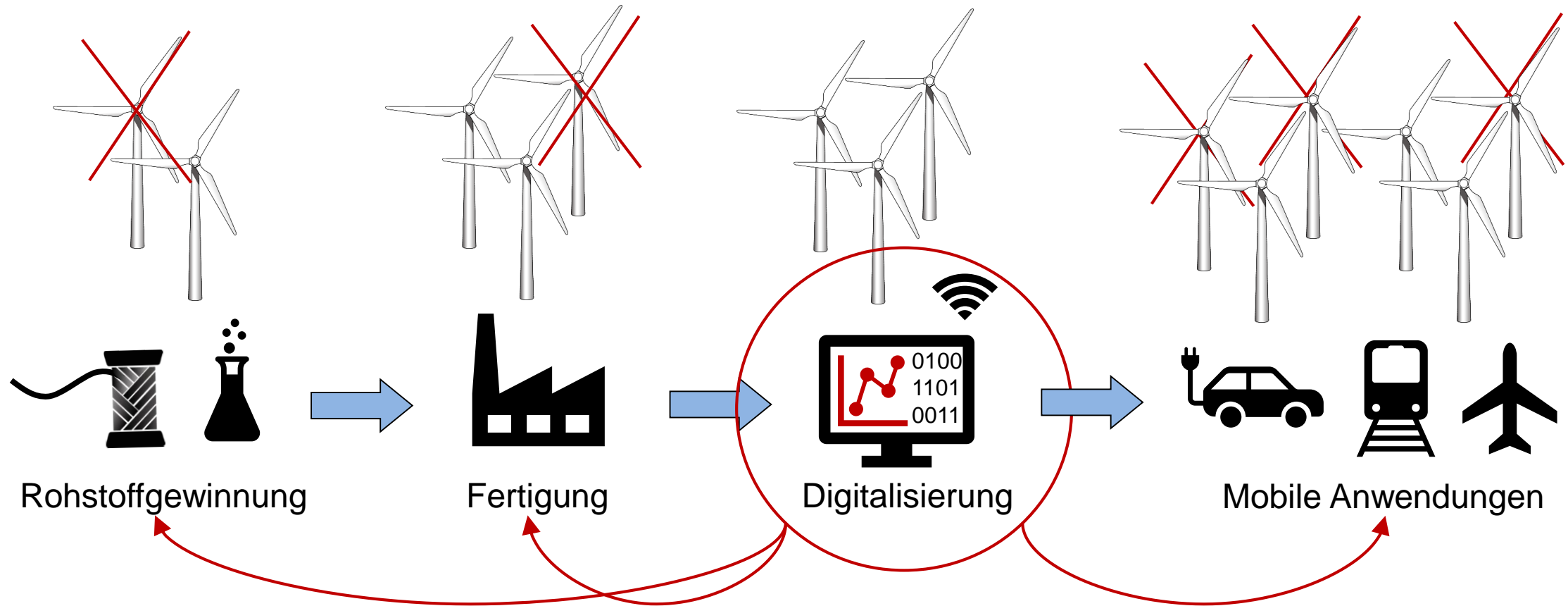
Wie geht das zusammen?



Digitalisierung als Weg zu mehr Nachhaltigkeit?



Digitalisierung als Weg zu mehr Nachhaltigkeit?



Was bedeutet „Nachhaltigkeit“?



»[...] eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.« (1987)



Was bedeutet „Nachhaltigkeit“ im Flugzeugbau?

- Der globale Luftverkehr ist für 3 bis 5% der Erderwärmung verantwortlich
 - (Quelle: <https://www.bdl.aero/de/themen-positionen/nachhaltigkeit/>)
- Ein Flugzeubleben beträgt ca. 30 Jahre, wird aber laufend erneuert
- Die Produktion ist für 0,2 bis 5% des Treibhausgasausstoßes verantwortlich (bezogen auf das Gesamtleben eines Flugzeugs)
 - (je nach Quelle bzw. interner LCA Bewertung)
- Um Gewicht einzusparen, wird ein Werkstoff eingesetzt, der
 - energieintensiv hergestellt wird
 - kompliziert auszulegen und zu bewerten ist
 - schwierig automatisiert zu verarbeiten ist
 - kaum Möglichkeiten zur Nachbearbeitung oder Reparatur bietet
 - schlecht recyclingfähig ist
 - fossile Rohstoffe benötigt
 - teuer ist

Flugscham!

Qualität bedeutet Nachhaltigkeit, aber auch lange Produktzyklen

Effiziente Triebwerke sparen dagegen 36% Brennstoff ein

Ein saurer Apfel, aber es lohnt sich, ihn zu essen, denn er ermöglicht auch neue Bauweisen.



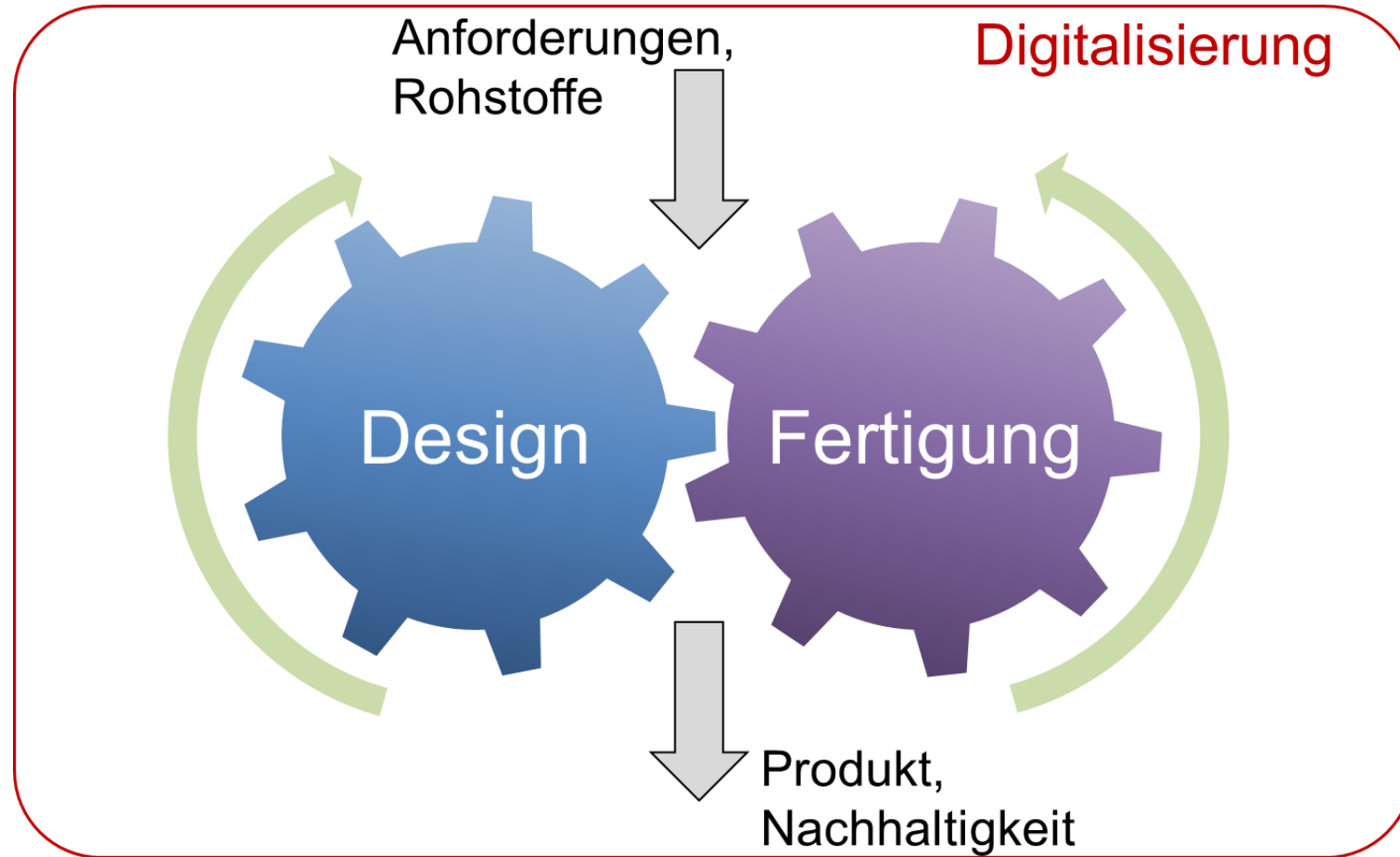
Welchen Beitrag kann Digitalisierung für eine nachhaltige Fertigung leisten?



ifu.com

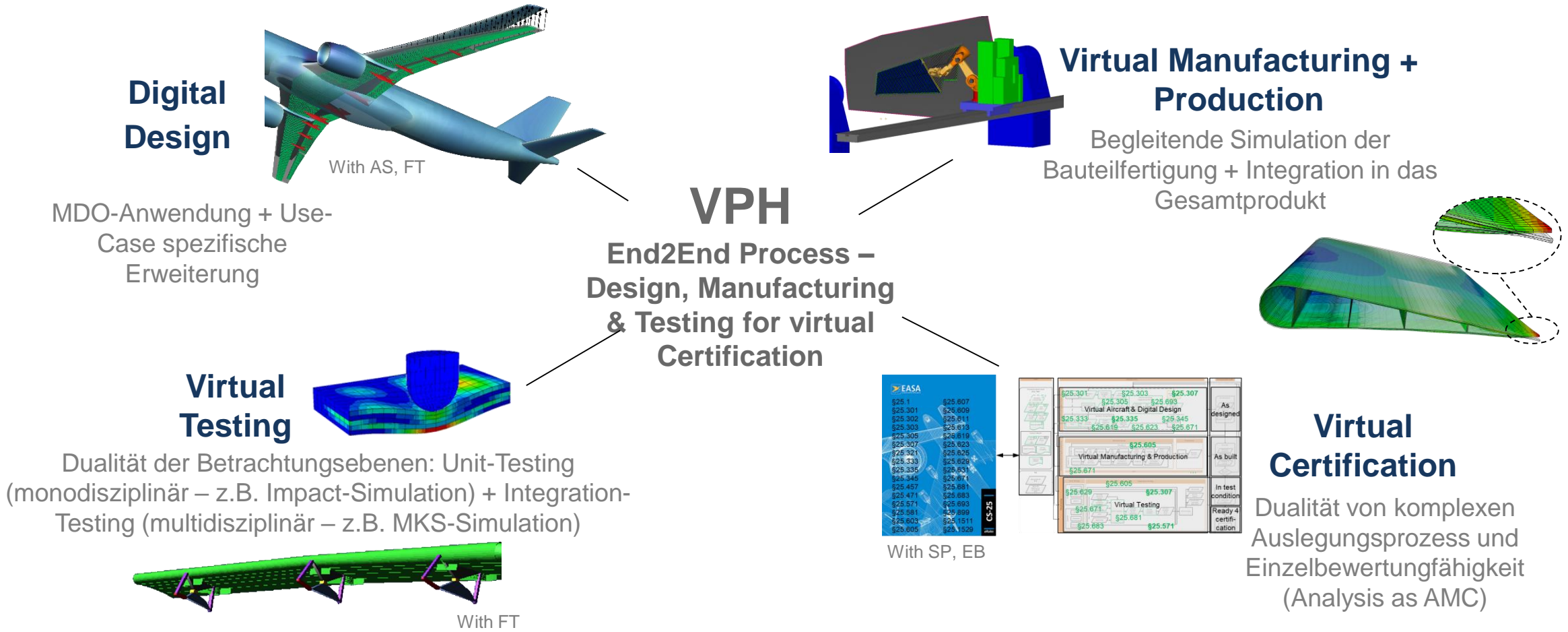


Digitalisierungsansatz 1



Digital Twin-driven Design: Verknüpfung von Fertigung und Design

Das Virtuelle Produkthaus (VPH) des DLR



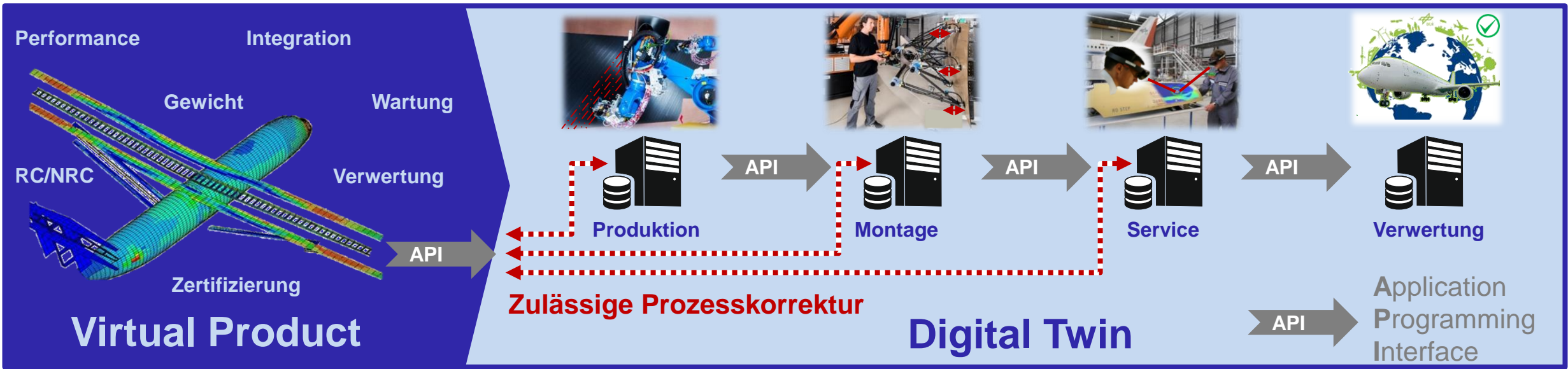
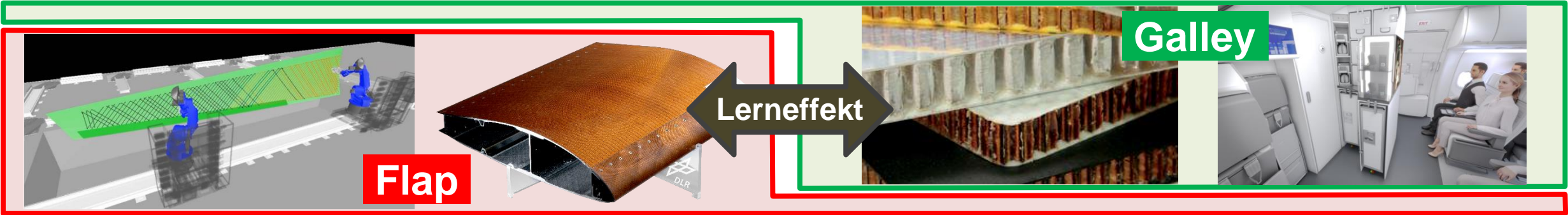
Digitalisierungsansatz 2

Human Centered Digitization

Human Aided Automation



Human Centered Digitization: **Performance Fokus** / **Nachhaltigkeits Fokus**



Digitalisierungsansatz 2

Human Centered Digitization

Human Aided Automation

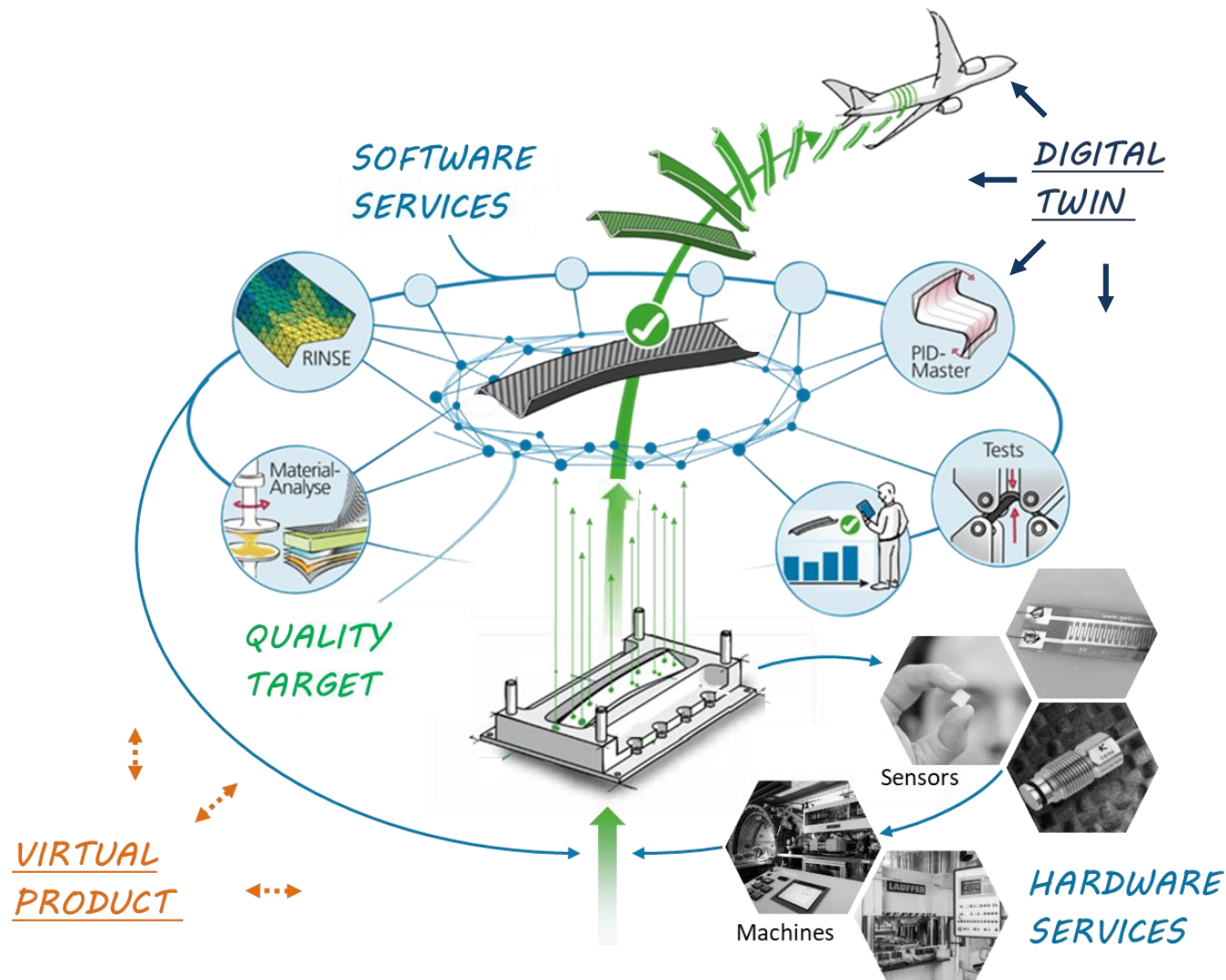


Human Aided Automation am Beispiel automatisierter multirobotischer Fertigungsprozesse

[PROTEC – Video Premiere – DLR Leichtbau](#)



DLR-FA Ansatz für Digitalisierung



Schwerpunkt „*Digital Twin-driven Design*“:

Interaktive Nutzung der digitalisierten Produktionsumgebung in der Designphase

Schwerpunkt „*Smart Documentation*“:

Interaktive, datenbankgestützte Erstellung der zulassungskonformen Bauteildokumentation für die Bereiche Fertigung und Montage

Schwerpunkt „*Digital Composite Production (DigiComP)*“:

Vernetzte Produktionsumgebung mit simulationsgestützter, sensorbasierter Erfassung und Tuning von Schlüsselkennwerten und -parametern

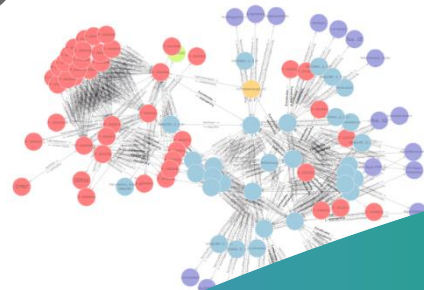
Schwerpunkt „*Information Modelling*“:

Datenbank/Modellbildung für auslegungs-relevante Materialkennwerte inklusive Metadaten zu Prozesshistorie und Ressourcenbilanz

Schwerpunkt „*Life Cycle Analysis (LCA)*“:

Erweiterung des Digitalisierungsansatzes auf den gesamten Lebenszyklus (DLR Kooperation)

Wie kommen wir dahin?



Automatisieren

- Prozessverständnis aufbauen
- Manuelle Tätigkeiten von **Maschinen** ausführen lassen



Digitalisieren

- **Modelle** von physischen Prozessen erzeugen
- **Wissen** abbilden



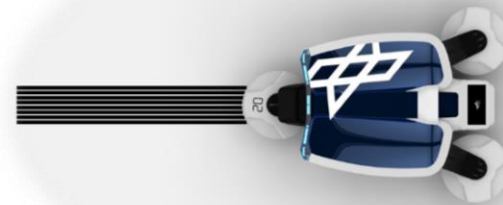
Vernetzen

- **Schnittstellen** etablieren
- **Interoperabilität** ermöglichen
- **Kommunikation** verbessern:
 - Mensch – Mensch
 - Mensch – Maschine
 - Maschine – Maschine
 - Fabrik – Fabrik



Autonomisieren

- **Automatisch bewerten** und **entscheiden**
- **Automatisch agieren**



Ein paar Beispielschritte auf dem Weg:

Modellbildung durch Maschinelles Lernen

Experimentelle Datenanalyse | Modellgenerierung | Anreizsystem

Erstausprobieren | Virtuelle Prozess-Optimierung | Virtuelle Prozess-Optimierung

Erkenntnis | Erkenntnisse

- Datenbasierte Vorhersage von Produktmerkmalen basierend auf Datenwissen
- Modellgenerierung der Geometrie von Bauteilparametern auf der Grundlage
- Virtuelles Update Design von Bauteil-, Material- und Prozessparametern

Digitale Zwillinge von Anlagen

Ziel

- Digitale Abbildung der realen Fertigungsanlagen
- Integrierung von Daten in das digitale Modell zur Optimierung
- Optimierung von Anlagenkonfigurationen
- Virtuelle Abbildung von Daten zur Optimierung von Anlagenkonfigurationen
- Virtuelle Abbildung von Daten zur Optimierung von Anlagenkonfigurationen
- Virtuelle Abbildung von Daten zur Optimierung von Anlagenkonfigurationen

Nutzen

- Prozessoptimierung
- Datenbasierte Optimierung von Anlagenkonfigurationen
- Verbesserung von Anlagenkonfigurationen
- Optimierung von Anlagenkonfigurationen

Digital Cowork: Agile Fertigungsdokumentation

Anforderung an die Fertigungsdokumentation

- Werkzeuge
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Werkzeuge
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Mensch-Maschine-Interaktion

Maschinelles Lernen zur Qualitätssicherung

Neural activation based probability estimation

Neural activation based probability estimation

Neural activation based probability estimation

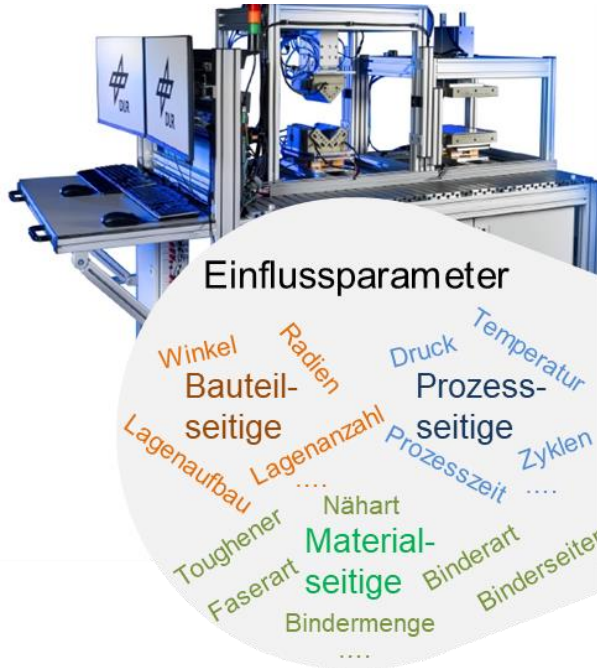
Autonome Produktionseinheiten

Ziel

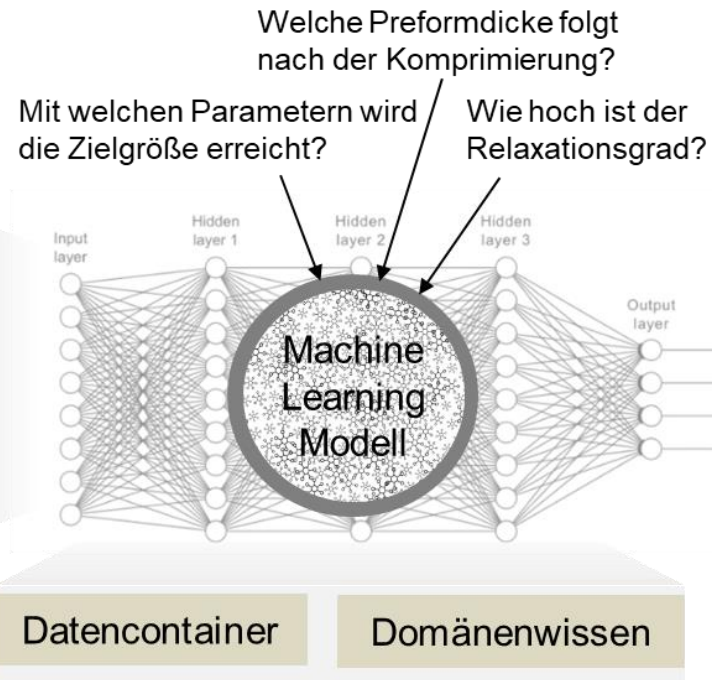
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten
- Autonome Produktionseinheiten

Modellbildung durch Maschinelles Lernen

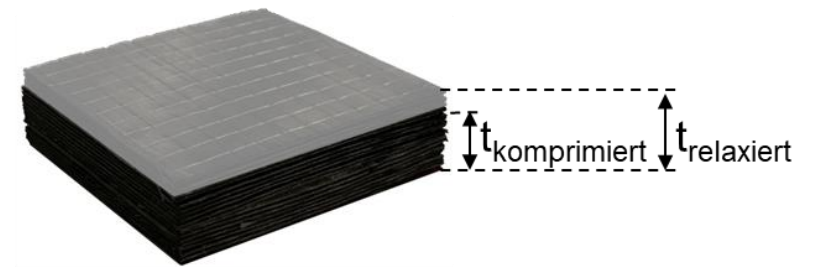
Experimentelle Datenerhebung



Modellgenerierung



Anwendungsfall



- Datenbasierte Vorhersage von Produktkennwerten basierend auf Domänenwissen
- Modellinterpretation der Einflüsse von Eingangsparametern auf die Zielgröße
- Ergebnis: Optimales Design von Bauteil-, Material- und Prozessparametern



Digitale Zwillinge von Anlagen

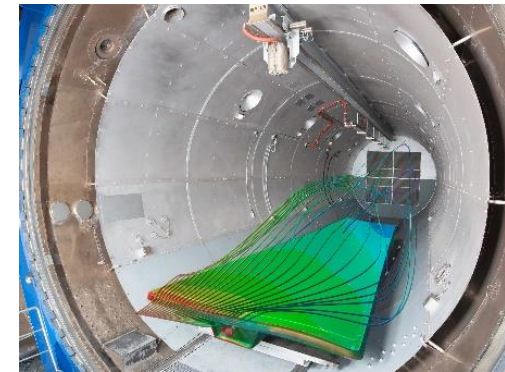
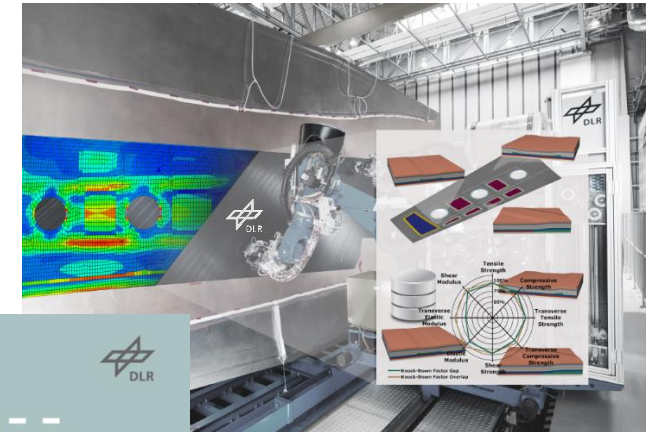
Ziel:

Digitale Abbilder der realer Fertigungsanlagen

- **Manufacturing Execution System (MES)** zur automatisierten Datenverarbeitung aus verschiedenen Quellen und Offlineprogrammierung in multiplen Koordinatensystemen
- **Virtueller Autoklav** mit Offline-Strömungssimulation zur Bestückungsoptimierung und Onlinesimulation zur prediktiven Prozesssteuerung
- **Virtueller Leitstand** mit agiler Dokumentation, semantisch vernetzten Teilprozessen und Visualisierung in VR/AR zur ortsunabhängigen Kollaboration

Motivation

- Ortsunabhängige Überwachung der laufenden Prozesse
- Dokumentation vergangener Fertigungsprozesse
- Verbindung von Simulation und Hardware
- Ergänzung von physisch durchgeführten Teilprozessen durch Simulation zum hybriden Gesamtprozess



Digital Cowork: Agile Fertigungsdokumentation

Anlagenverwaltung in MeisterTask:

- Wartungsplan
- Maschinendokumentation und Anleitungen
- Versuchsplanung
- LDS-Module mit eigener URL
- Filterung durch Tags
- Zuweisung an Verantwortlichen
- Kommentarfunktion
- „News-Feed“
- Export als .csv, .json
- API-Schnittstelle
- Migrierbar nach Wekan, Gitlab issues,...

Vorbereitung

- ✓ Quertransport und Einfördern der Konsolidierkassette in die Feinbesäumungszelle
- ✓ Drehung um 90 Grad und Indexierung
- ✓ Werkzeugeinsatz nach rechts und nach hinten schieben (Blick aus der Tür der FB-Zelle)
- ✓ Vorne und links die nummerierten Unterlegscheiben (rechts vorne beginnt mit Q) dazwischen klemmen
- ✓ Das Decklegenwerkzeug wird über zwei Schrauben an der Bodenplatte fixiert
- ✓ Reinigen der Werkzeuge
- ✓ Foto-machen

+ Checklisten-Eintrag hinzufügen

News-Feed

- VOR 5 MONATEN Björn kommentiert: Ende Bahn 4 vor dem Radius nicht geschnitten -> manuelles trennen
- VOR 5 MONATEN Björn kommentiert: Ende Bahn 11 im Übergang zu Bahn 1 nicht geschnitten
- VOR 5 MONATEN Björn kommentiert: Verschnitt von Bohrung 12 und 13 hing noch an Faser fest -> Manuelles Trennen
- VOR 5 MONATEN Björn kommentiert: Aufgrund von Vorversuchen zur Maßhaltigkeit des Schneidergebnisses mit zwei unterschiedlichen Messergeometrien

Anhänge

+ Anhang hinzufügen

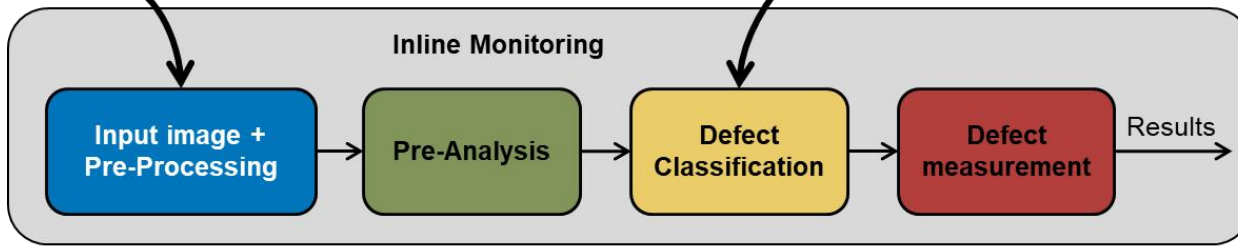
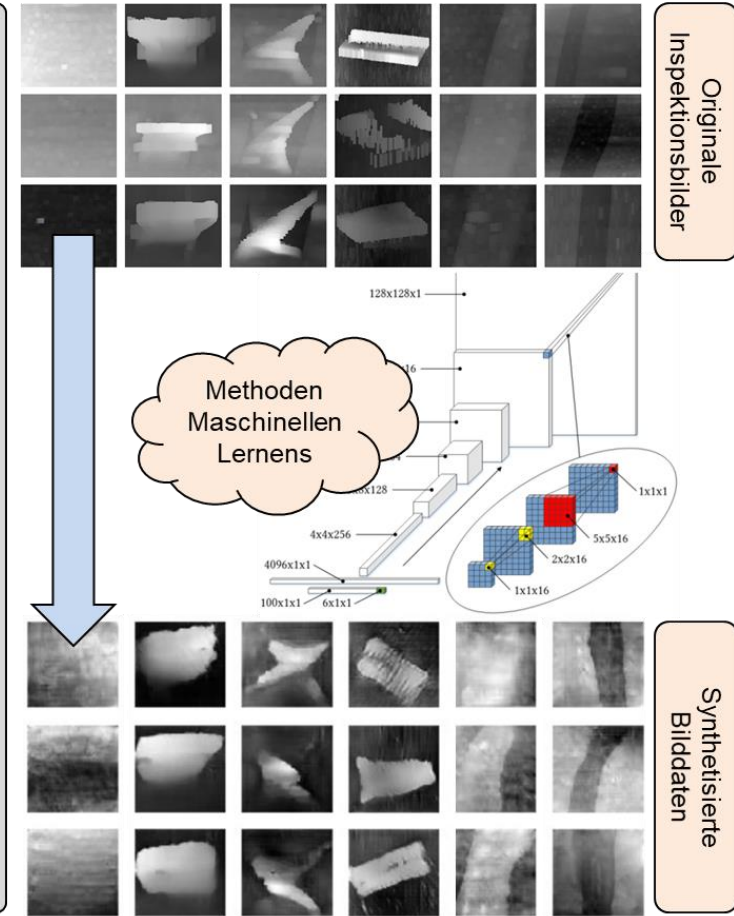
Maschinelles Lernen zur Qualitätssicherung

Neural activation based probability estimation

Ground truth class	None	Wrinkle	Twist	For. Body	Overlap	Gap
None	95.05% ($\sigma=10.39\%$)	0.72% ($\sigma=2.44\%$)	1.21% ($\sigma=4.84\%$)	0.02% ($\sigma=0.07\%$)	2.64% ($\sigma=5.76\%$)	0.37% ($\sigma=1.57\%$)
Wrinkle	0.31% ($\sigma=2.13\%$)	98.10% ($\sigma=7.22\%$)	1.38% ($\sigma=5.92\%$)	0.00% ($\sigma=0.00\%$)	0.21% ($\sigma=1.42\%$)	0.00% ($\sigma=0.01\%$)
Twist	1.65% ($\sigma=6.05\%$)	2.62% ($\sigma=6.77\%$)	92.53% ($\sigma=13.89\%$)	2.40% ($\sigma=7.86\%$)	0.46% ($\sigma=1.44\%$)	0.35% ($\sigma=2.58\%$)
For. Body	0.08% ($\sigma=0.21\%$)	0.64% ($\sigma=2.26\%$)	8.83% ($\sigma=12.90\%$)	89.90% ($\sigma=14.84\%$)	0.33% ($\sigma=0.73\%$)	0.22% ($\sigma=0.53\%$)
Overlap	3.35% ($\sigma=9.53\%$)	0.80% ($\sigma=2.29\%$)	0.66% ($\sigma=1.58\%$)	0.01% ($\sigma=0.02\%$)	94.29% ($\sigma=11.34\%$)	0.90% ($\sigma=5.04\%$)
Gap	0.16% ($\sigma=0.64\%$)	0.56% ($\sigma=2.12\%$)	1.75% ($\sigma=5.84\%$)	0.00% ($\sigma=0.01\%$)	0.97% ($\sigma=3.24\%$)	96.56% ($\sigma=9.15\%$)
	None	Wrinkle	Twist	For. Body	Overlap	Gap

Optische Sensor- und Materialmodellierung

Synthetische Test-/ Trainingsdatengenerierung



Autonome Produktionseinheiten

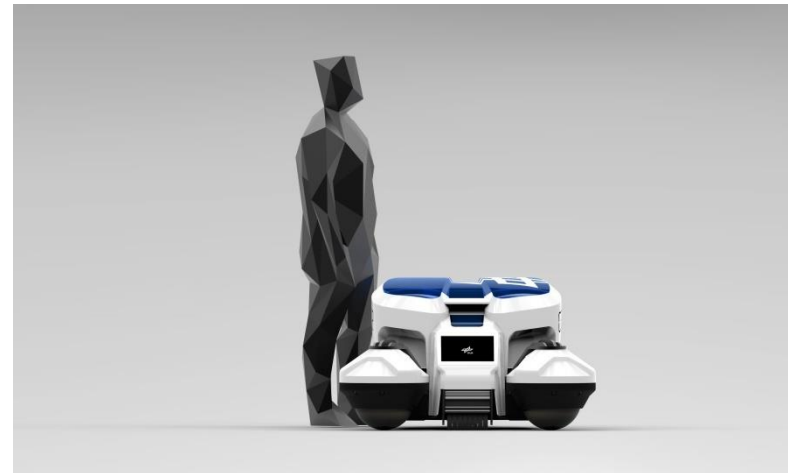
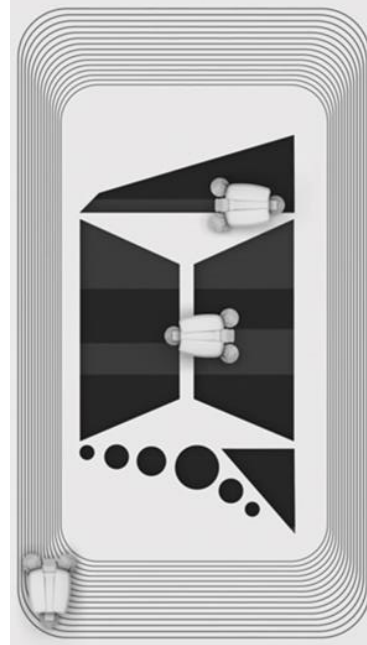
Ziel Entwicklung FlappyBot:

- Mehrere autonome, mobile Robotereinheiten mit anwendungsspezifischen Endeffektoren
- Eine zentrale Steuerung ermöglicht die jeweilige Operation durch schwarmähnliche Interaktion mehrerer Einheiten
- Erstanwendung: Fertigung großer, flächiger Faserverbundlaminat durch mobile Robotik als Add-On oder Ersatz herkömmlicher Portalsysteme

Motivation:

- **Produktivität und Redundanz** durch Multiagentensystem und verteilte KI
- **Skalierbarkeit** durch variable Anzahl kooperierender Einheiten ohne starre Führungskinetik und Kabel
- **Produktion robust** durch zentrale Steuerung und Austauschbarkeit einzelner Einheiten im Störfall
- **Geringere Investitionskosten** als Portalsysteme da kleiner Hardwareumfang ohne Schwerlastfundamente

Flexible autonomous production, placement and assembly robot (Flappybot)



Nachhaltigkeit durch Digitalisierung:

„Mehr als nur 1% von 3% etwas effektiver machen“



A modern meeting room with a large window, a spherical light fixture, and a projection screen displaying a thank-you message. The room features a glass ceiling with colorful panels and white chairs around a table.

**VIELEN DANK
FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT!**



DigiComP: das smarte Ökosystem für den Faserverbundleichtbau und der Ursprung von Fertigungsdaten

Mark Opitz

SCOPRA, CURESIM und RINSE: Assistenten und Wissensträger in der Faserverbundfertigung

Dr. Nico Liebers, Dominic Bertling



Smarte Leichtbau-Produktionstechnologien in der Anwendung: Was können Maschinen aus Produktionsdaten lernen?

Dr. Christoph Brauer, Anja Haschenburger

Nächste Ausfahrt „First time right“: Virtuelle Fertigung am Beispiel des Aushärtungsprozesses im Virtuellen Autoklav

Hakan Ucan, Anja Haschenburger



Smarte Dokumentation: Assistent zur intelligenten Zusammenführung von Daten und Informationen

Dr. Falk Heinecke

