INTELLIGENTE QUALITÄTSSICHERUNG IN DER FASERVERBUNDFERTIGUNG

Christoph Brauer
Institut für Systemleichtbau
Abteilung Produktionstechnologien
Stade

DLR

CFK NORD™

DLR Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie

Forschung an Produktionstechnologien im Systemleichtbau

Methoden und Technologien zur Inline-Qualitätssicherung / KI in Produktionstechnologien

GroFi

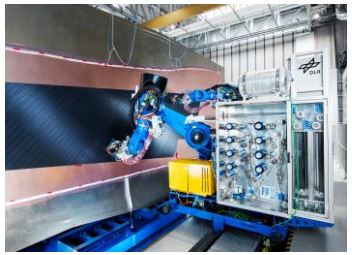
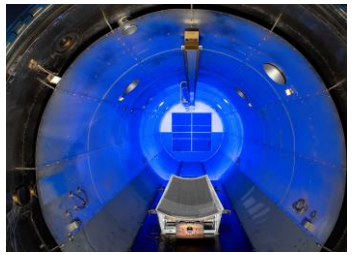
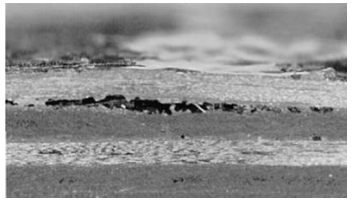
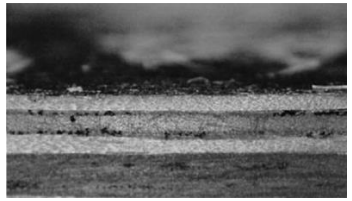
BALU

EVo

LECKAGELOKALISIERUNG

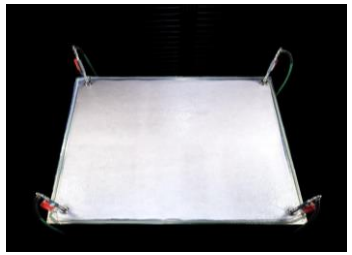
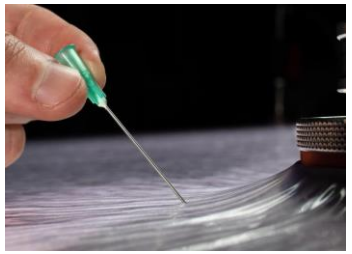
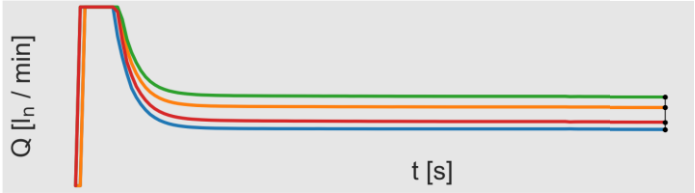
Leckagelokalisierung

Kontext & Problem

Versuchsaufbau

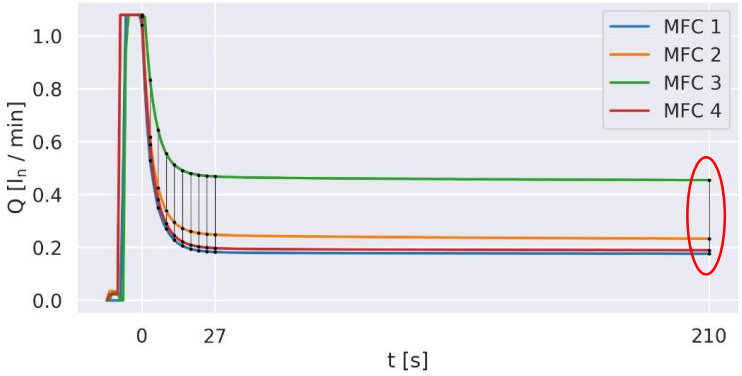
Daten & Aufgabe

- Aushärtung und Konsolidierung von Faserverbundbauteilen
- Leckagen im Vakuumaufbau führen zu Qualitätsmängeln
- Manuelle Lokalisierung kann mehrere Personen für Stunden binden
- Manuell erzeugte Datensätze aus Leckagepositionen und Durchflusswerten
- Vorhersage von Leckagepositionen aus Durchflusswerten im Gleichgewicht

Multi-Label Klassifikation

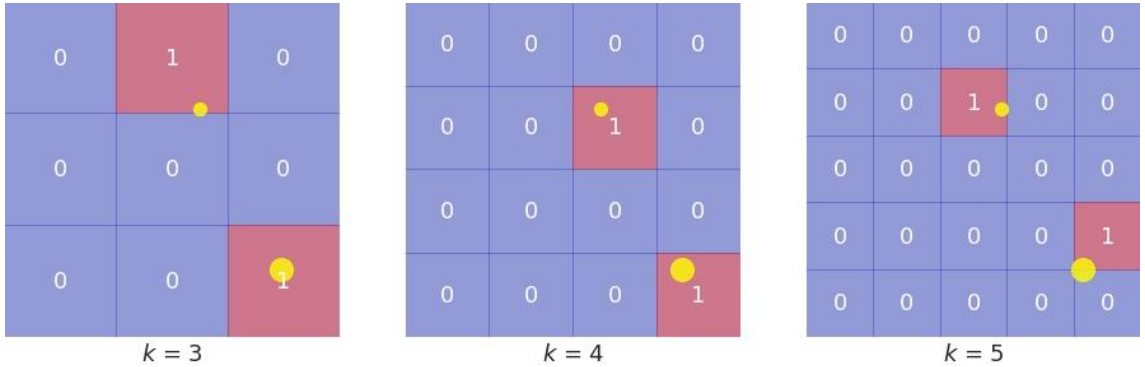
Input



$x \in \mathbb{R}^4$

Durchflusswerte im Gleichgewicht

Output

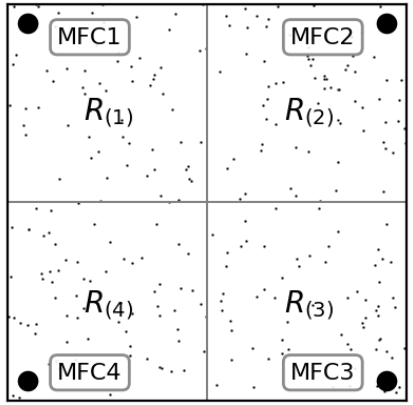


$y \in \{0, 1\}^{k^2}$

Gitterfeinheit k

Einbindung von Vorwissen

Voronoi-Diagramm

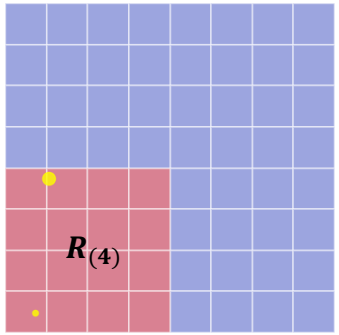


Annahme 1

Größter Fluss an Sensor i

$\Downarrow$

Region $\mathrm{R}_{(\mathrm{i})}$ enthält Leckage

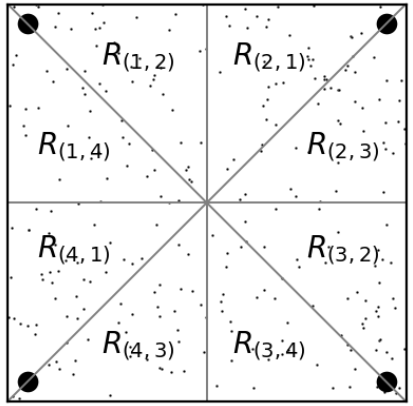


$$x = [0.09, 0.06, 0.05, 0.19]$$

MFC1 MFC2 MFC3 MFC4

$$R_{(i)} := \{z \mid \|z - \mathrm{MFC}_i\| \leq \|z - \mathrm{MFC}_k\| \text{ for all } k \neq i\}$$

Generalisiertes Voronoi-Diagramm

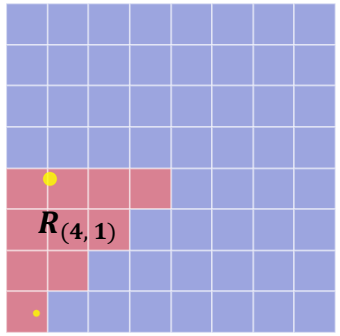


Annahme 2

Größter Fluss an Sensor i und zweitgrößter an Sensor j

$\Downarrow$

Region $\mathrm{R}_{(\mathrm{i,j})}$ enthält Leckage



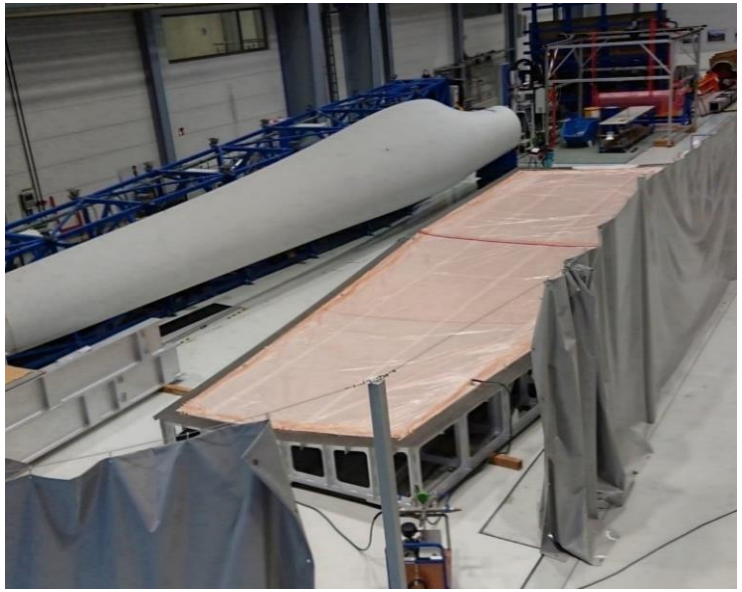
$$x = [0.09, 0.06, 0.05, 0.19]$$

MFC1 MFC2 MFC3 MFC4

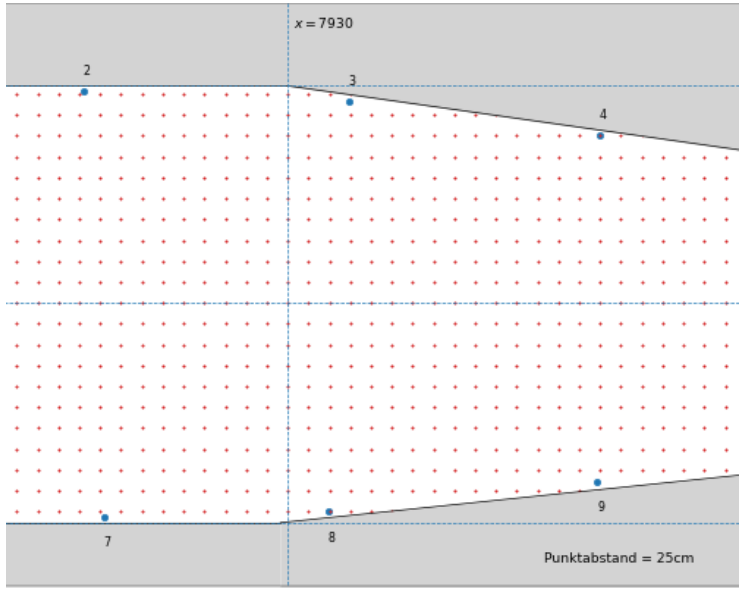
$$R_{(i,j)} := \{z \mid \|z - \mathrm{MFC}_i\| \leq \|z - \mathrm{MFC}_j\| \leq \|z - \mathrm{MFC}_k\| \text{ for all } k \notin \{i,j\}\}$$

A350 Flügelschale

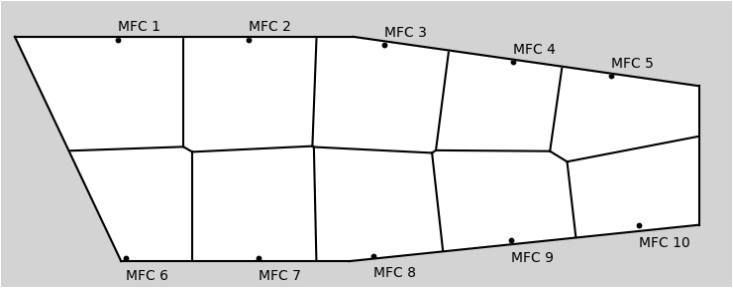
Setup

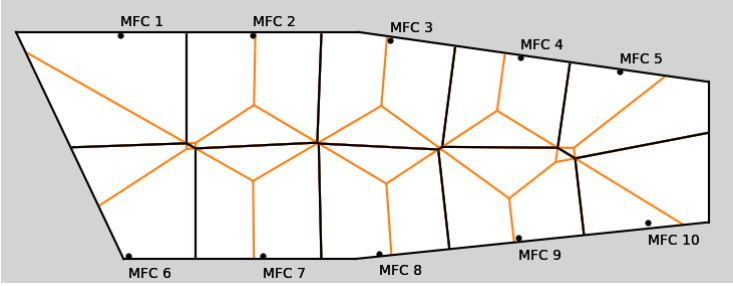


Datengenerierung



Voronoi-Diagramme





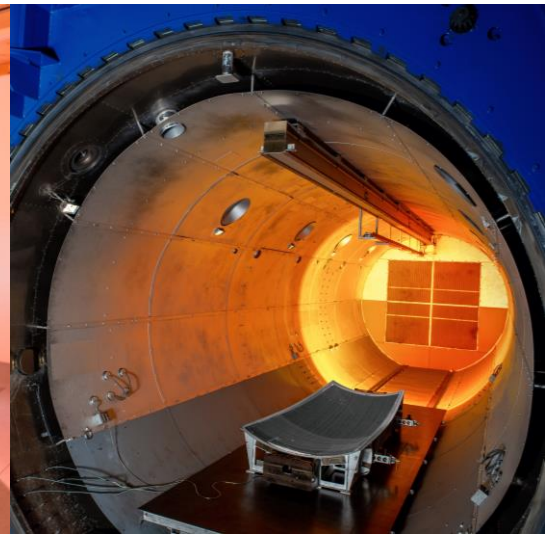
BELADUNGSOPTIMIERUNG

Bild: Forschungszentrum Jülich

Beladungsoptimierung und Quantencomputing

Herausforderung

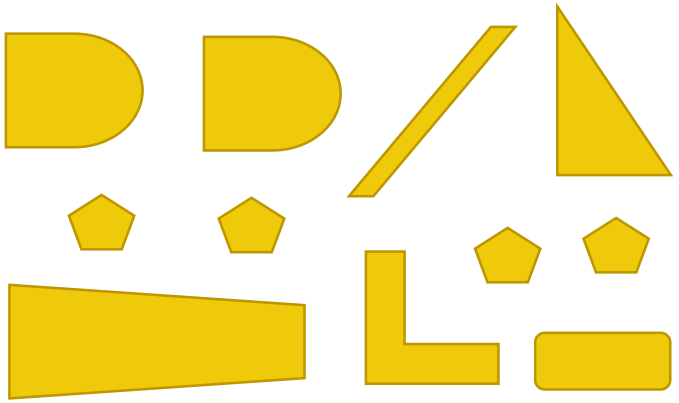
- Sollen mehrere Bauteile unterschiedlicher Geometrie gleichzeitig ausgehärtet werden, dann beeinflusst ihre Anordnung Prozesslaufzeit und Energieverbrauch
- Industrielle Autoklavprozesse erfolgen täglich mit zu mehreren hundert heterogenen Bauteilen, deren Zusammensetzung variiert
- Anordnung der Bauteile im Autoklav derart, dass die Prozesszeit ein Minimum annimmt
- Berücksichtigung von Prioritäten pro Bauteil bei zu hohem Bedarf an Stellplätzen



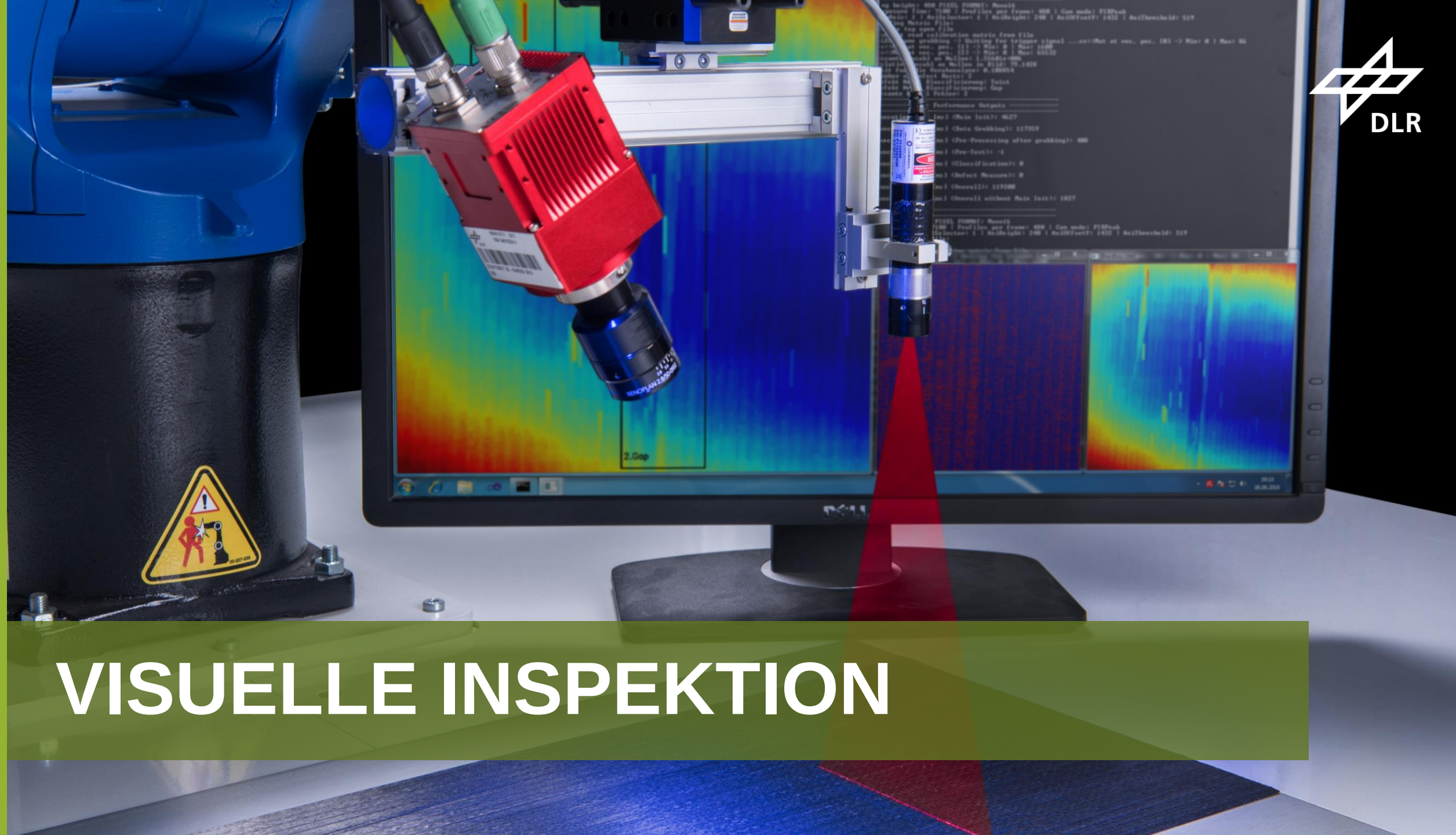
- Projekt ELEVATE (**E**nhanced prob**LE**m sol**V**ing with qu**A**ntum compu**TE**rs)
- Untersucht das Potenzial von Quantecomputern für Anwendunge im DLR
- Nutzung des Quanten-Annealers am Forschungszentrum Jülich

5614
WORKING QUBITS

Kombinatorisches Optimierungsproblem

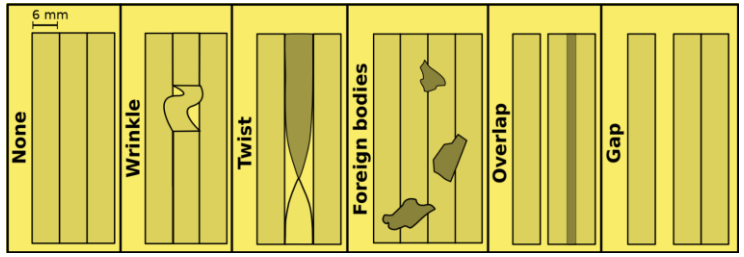
Demand	*Locations*	Optimierungsproblem
		$\min_{\boldsymbol{A}\in\{0,1\}^{D\times L},\, T} \quad T \quad - \quad \lambda \boldsymbol{p}^\top (\boldsymbol{A}\mathbb{1})$ s. t. $\boldsymbol{A}^\top\mathbb{1} \leq \mathbb{1}$ $\boldsymbol{A}\mathbb{1} \leq \mathbb{1}$ $\forall\, \boldsymbol{M} \in \mathcal{C}: \quad \langle \boldsymbol{A}^\top \boldsymbol{G}, \boldsymbol{M}\rangle \leq 1$ $\forall\, \ell \in [L]: \quad \pi_\ell(\boldsymbol{A}^\top \boldsymbol{G}) \leq T$

- Resultierendes binäres Optimierungsproblem ist NP-schwer
- Dies kann auf klassischen Rechnern zu untragbaren Laufzeiten führen
- Gleichzeitig generischer Anwendungsfall für Quanten-Annealing-Systeme



VISUELLE INSPEKTION

Visuelle Inspektion



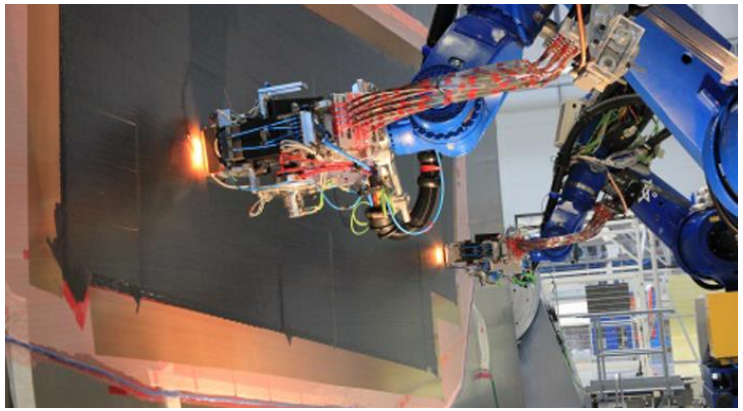
Automatisierter Faserlegeprozess

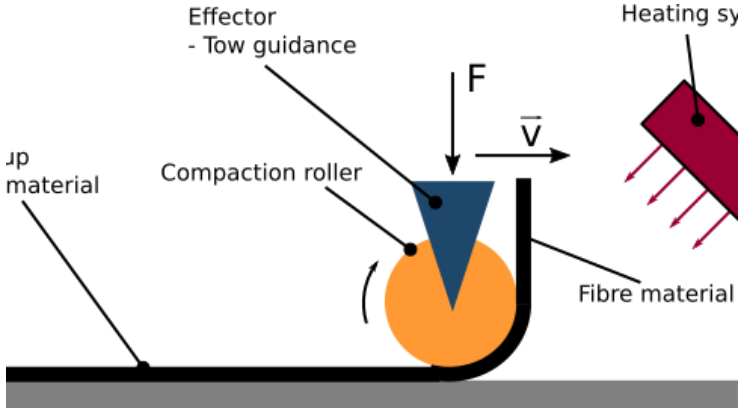
Fertigungsdefekte

Robotische Legeeinheiten

Faserablage

Laserlichtschnittsensor

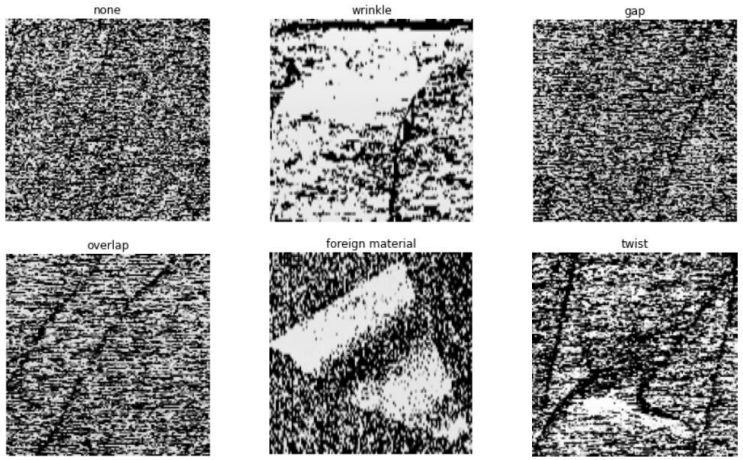




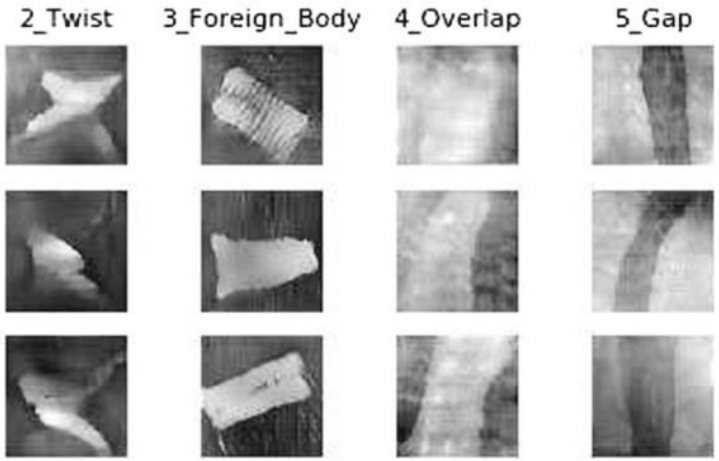
Dr. Sebastian Meister

Visuelle Inspektion

Realdaten



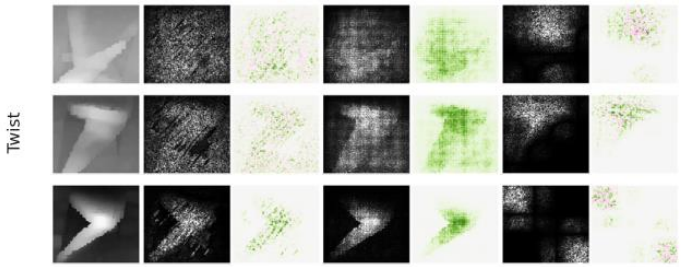
Synthetische Daten



Testergebnisse

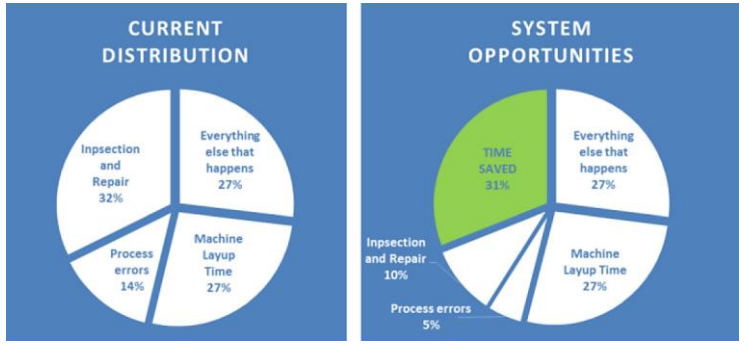
Actual class \ Predicted class	None	Wrinkles	Twists	Foreign body	Overlap	Gap
None	78.07% (σ=23.36%)	0.27% (σ=0.18%)	0.29% (σ=0.17%)	0.99% (σ=0.51%)	17.77% (σ=21.72%)	2.61% (σ=1.17%)
Wrinkles	0.05% (σ=0.04%)	99.22% (σ=0.47%)	0.35% (σ=0.31%)	0.17% (σ=0.22%)	0.21% (σ=0.28%)	0.01% (σ=0.01%)
Twists	0.02% (σ=0.02%)	0.17% (σ=0.08%)	96.09% (σ=0.29%)	0.94% (σ=0.59%)	2.34% (σ=0.60%)	0.43% (σ=0.26%)
Foreign body	0.17% (σ=0.05%)	2.74% (σ=1.46%)	6.59% (σ=3.15%)	89.84% (σ=4.80%)	0.53% (σ=0.19%)	0.13% (σ=0.17%)
Overlap	6.78% (σ=4.43%)	0.08% (σ=0.09%)	1.10% (σ=0.33%)	0.25% (σ=0.13%)	89.33% (σ=4.47%)	2.46% (σ=0.49%)
Gap	3.80% (σ=3.02%)	0.00% (σ=0.00%)	0.65% (σ=0.26%)	0.22% (σ=0.14%)	6.77% (σ=3.47%)	88.56% (σ=0.98%)

- Segmentierungsgenauigkeiten > 97% (Klassische Algorithmen)
- Klassifikationsgenauigkeit > 88% (Neuronale Netze)
- Anwendung Erklärbarer KI durch Heatmaps



Zusammenfassung & Ausblick

- KI (und angewandte Mathematik und Optimierung und Quantencomputing) für intelligente Qualitätssicherung (und Prozessplanung)
- Zeitersparnis, Vermeidung von Ausschuss, potenziell auch Reduktion von Sicherheitsaufschlägen an Material
- Weitere Schritte: Integration von Daten- und wissensbasierten Methoden, Industrialisierung, Erschließung weiterer Anwendungsbereiche



Grafik: Rudberg et al.

Vielen Dank!