

Robot and Human Motion Lab **RAHM-LAB** @ DHBW Karlsruhe



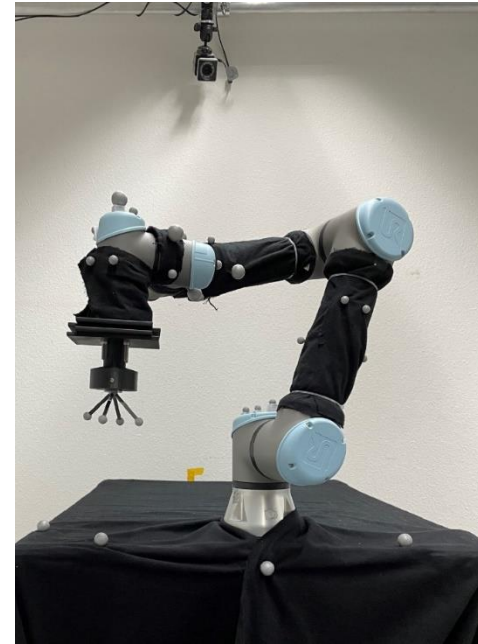
Visit us at www.karlsruhe.dhbw.de/rahmlab

Bewegung des Roboters

KI-basierte Roboterkalibrierung

(KIRK – BmBF mit Artiminds Robotics und UniStuttgart)

- Mit Machine Learning Methoden die Positioniergenauigkeit von preiswerten kollaborativen Robotern verbessern
- „Daten getrieben“ statt physikalische Modellierung
- Kalibrierung jedes einzelnen Roboters





Roboter – Was begrenzt die Genauigkeit?

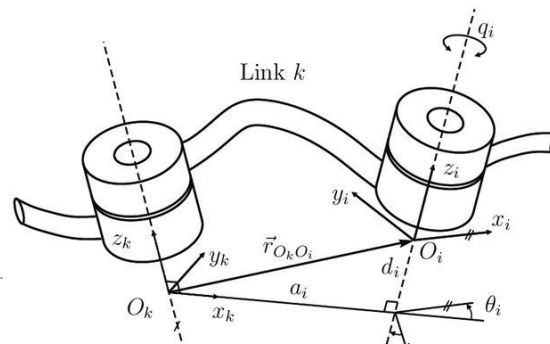
Fehlerquellen		
Umgebung	Robotermechanik	Signalverarbeitung
<ul style="list-style-type: none">• Temperatur-schwankungen• Externe dynamische Anregungen• Verformung der Befestigung	<ul style="list-style-type: none">• Encoderauflösung• Justagefehler• Kinematische Abweichungen (Armlängen etc.)• Erwärmung von Elektronik und Motoren• Getriebesteifigkeit• Getriebeispiel• Getriebereibung und - Verschleiß	<ul style="list-style-type: none">• Annahmen inverse Kinematik• Regelabweichung Servoantriebe <p>> 1 mm</p> <p>< 1 mm; > 0.1 mm</p>

Beispiel: Veränderungen in der Größenordnung von cm

- nach Aufwärmphase eines UR10
- Nach Einzelkalibration eines UR5

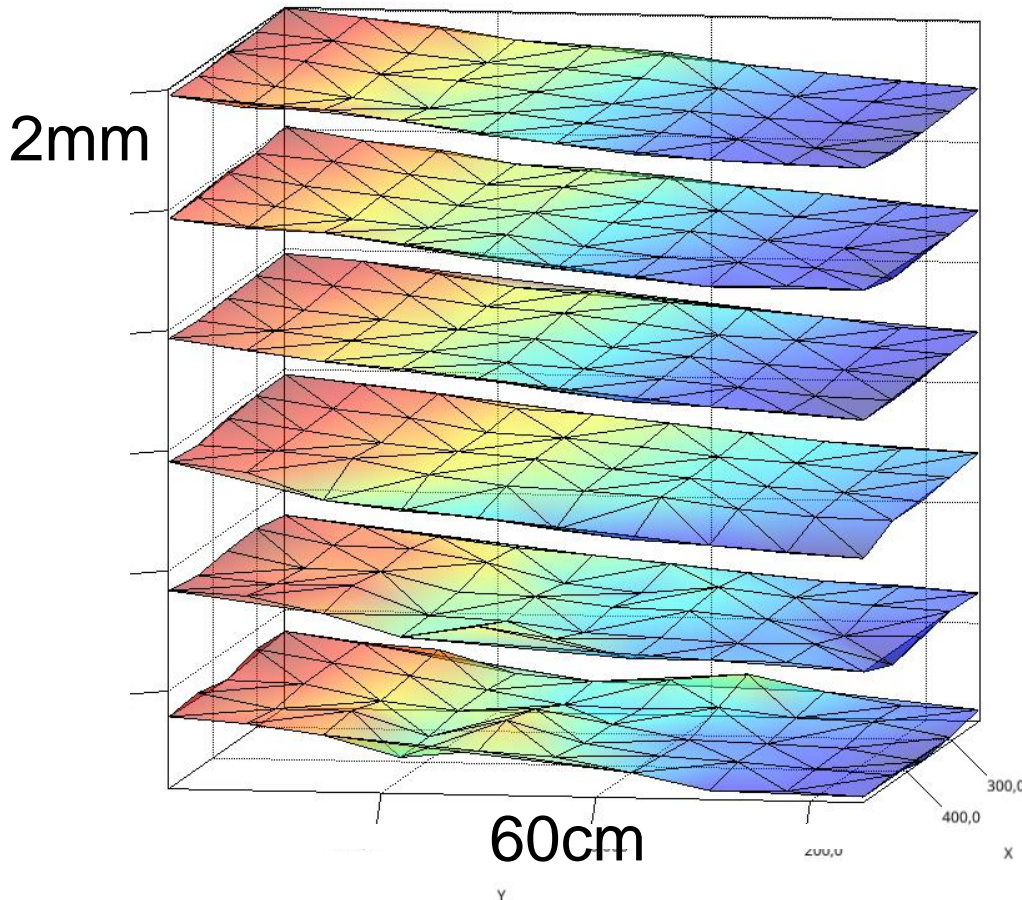
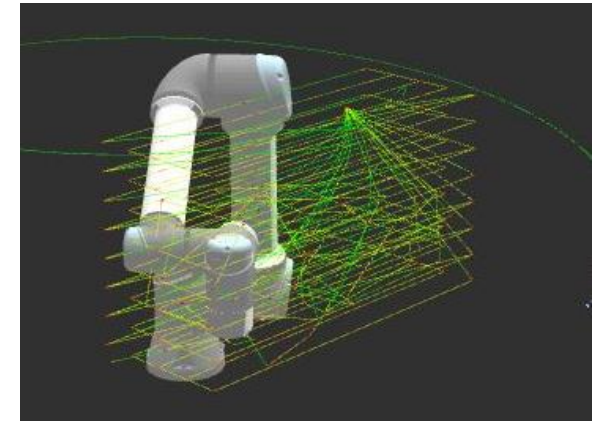
Ergebnisse - DH-parameter: nominal versus kalibriert

	r [mm] nominal	r [mm] calibrated	d [mm] nominal	d [mm] calibrated	α [°] nominal	α [°] calibrated
Base	0,0	0,0	162,5	162,424	0,0	0,0
Shoulder	0,0	-0,157	0,0	0,0	90,0°	89,950
Elbow	-425,0	-425,146	0,0	0,0	0,0°	0,120
Wrist 1	-392,0	392,135	133,3	134,007	0,0	-0,255
Wrist 2	0,0	0,063	99,7	99,639	-90,0	-89,978
TCP	0,0	0,09	99,6	99,382	90,0	89,973





Results



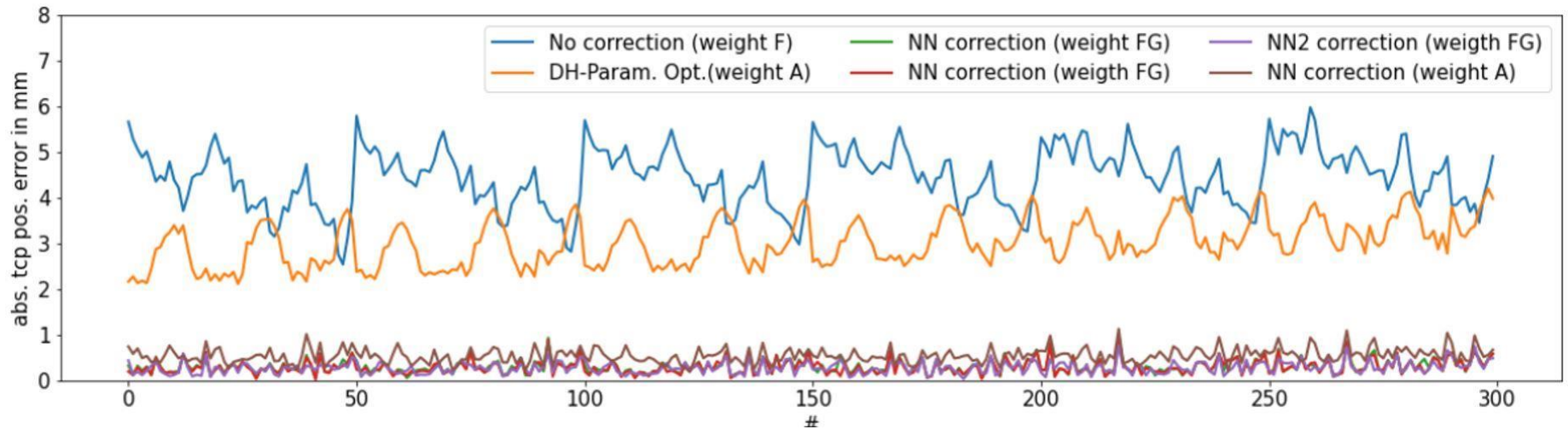
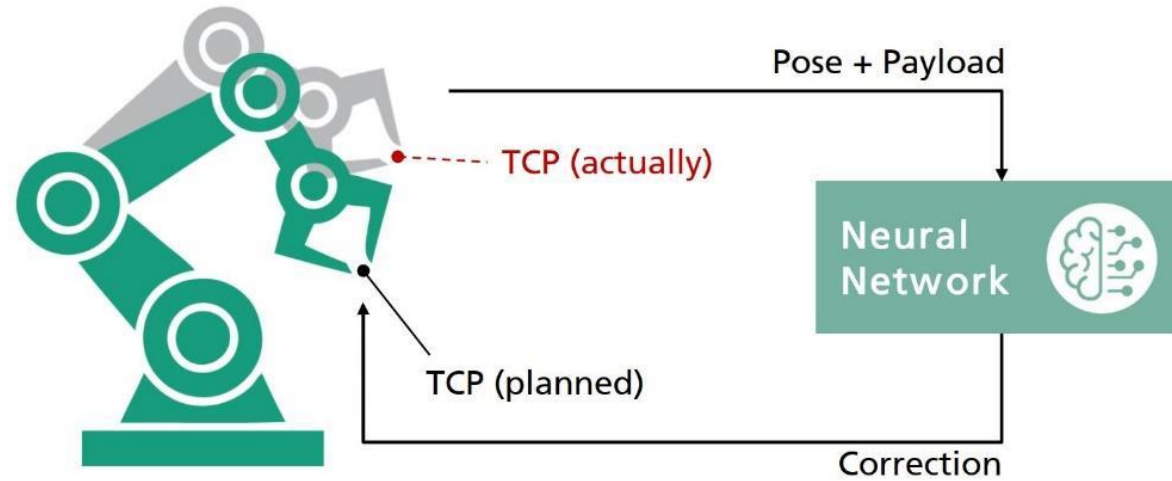
Zielposition – gemessen in z

- In $-y$ Richtung +1mm Anstieg
- höhere Ebenen „besser“
- zum Rand „schlechter“

→ Kompensation durch NN



Ergebnisse nach NN-Kompensation



RoboGrind - Hybride KI für die flexible und hochautomatisierte Oberflächenbearbeitung

Projektpartner: IFF der Universität Stuttgart, Firma SHL AG,
Firma ArtiMinds Robotics GmbH

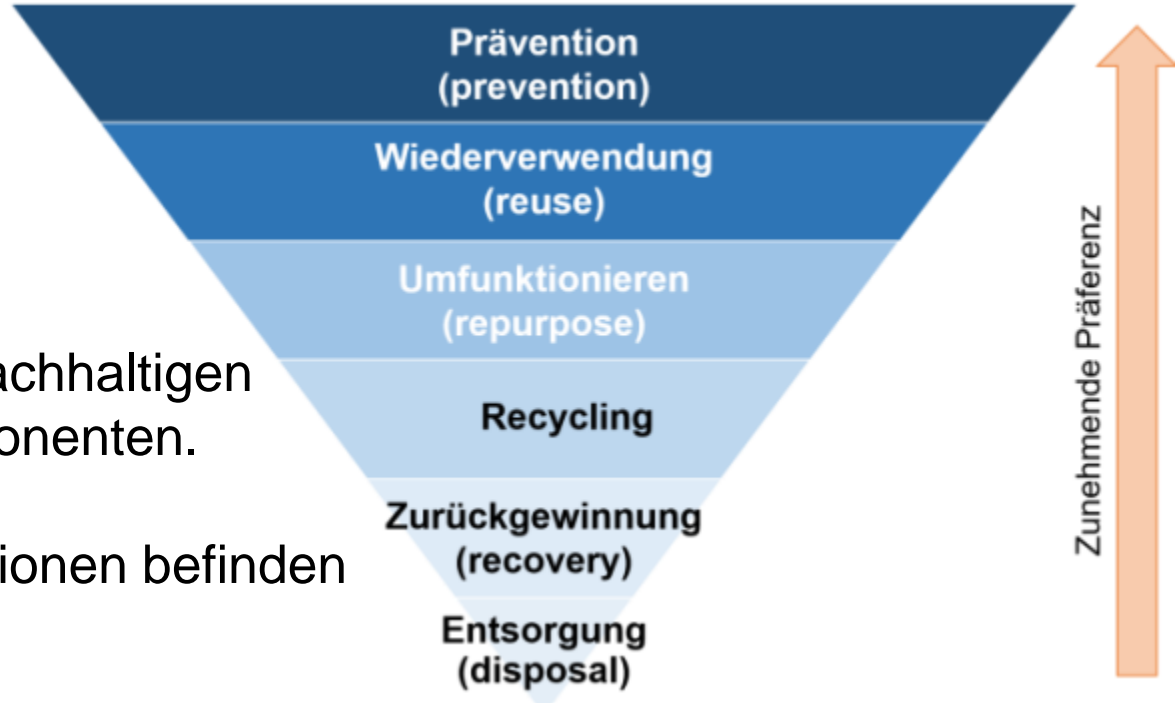
Projekt-Laufzeit: 01.10.2021 - 30.09.2023

Förderung durch: Invest BW



RoboGrind – Hybride KI für die flexible und hochautomatisierte Oberflächenbearbeitung mit Robotern (mit Uni Stuttgart, Artiminds Robotics, SHL)

Abfallhierarchie



- Die Abfallhierarchie der nachhaltigen Nutzung von Gerätekomponenten.
- Die zu präferierenden Optionen befinden sich oben
- Robogrind adressiert die zweithöchst präferierte Option „Wiederverwendung“

aus: WindEurope: "Accelerating Wind Turbine Blade Circularity", 2020.



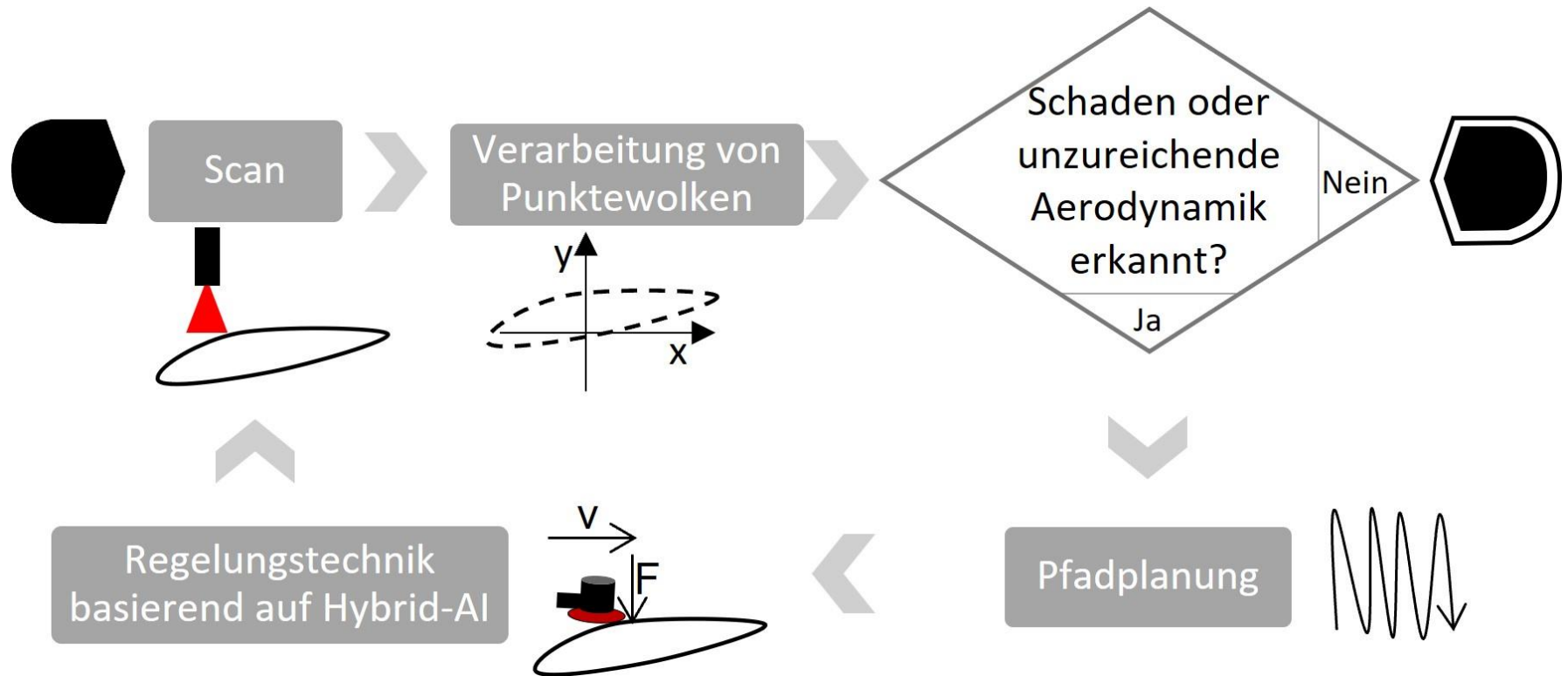
Ziel des Projekts RoboGrind

Vereinbarkeit von Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit durch automatisierte, KI-basierte Wiederaufbereitung:

- KI ermöglicht automatisierte, individuelle Reparatur
 - Verbindung von Sensoren zur Schadensdetektion mit Werkzeugen zur Oberflächenbearbeitung
 - Hybride KI: Verbindung von Fachwissen mit kontinuierlichem Lernen auf Basis von Feedback-Schleifen
 - Einsatz von Simulationsmodellen zur Planung und Schadensminimierung an Werkstücken
-



Workflow und Bestandteile von RoboGrind am Beispiel Windrad-Flügel-Aufbereitung



Integrationstreffen RoboGrind



TRAJO – Intuitiv konfigurierbare Trajekturen-Optimierung für flexible Roboteranwendungen

Projektpartner: Firma Wandelbot
Projekt-Laufzeit: 2.2.23 bis Ende 2024
Förderung durch: ZIM



Ziel des Projekts TRAJO

Software-Prototypen für die Optimierung von Roboter-Bewegungen

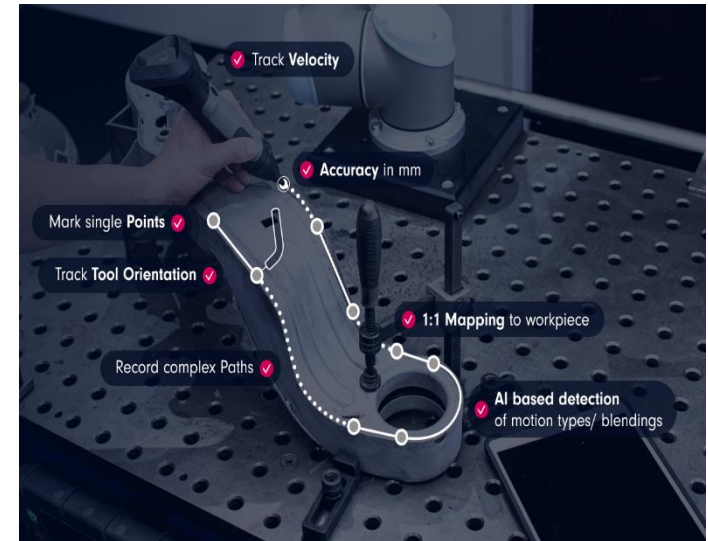
- Dabei soll es insbesondere möglich werden den Energieverbrauch und den Verschleiss des Roboters selbst zu reduzieren.
 - Komplexe Randbedingungen wie maximale Taktzeit und Drehmomente in den Aktuatoren, maximale Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Ruck müssen berücksichtigt werden
 - Eigenkollisionen der Robotersegmente und des Roboters mit der Umgebung müssen ausgeschlossen werden
-

Kooperatives Forschungsprojekt

- **DHBW:**
 - Untersucht numerische Lösungsverfahren
 - Aufbau einer Software-Pipeline zur Optimierung
 - Vermessung (Stromverbrauch, Bewegungen, Kräfte/Momente)
 - Dabei Einbindung von Studierenden in Form von Studien- und Bachelor-Arbeiten
 - **Wandelbot:**
 - Entwickelt Schnittstellen für bestehende Komponenten als Python-Wrapper
 - Untersucht welche Kombinationen von Optimalitätskriterien und Randbedingungen in der Praxis wichtig sind
 - Baut einen Hardware-Prototypen auf
-

Optimierungs-Verfahren

- Gestartet wird mit einer nicht-optimalen initialen Trajektorie, die mit vorhandenen Codes auf der Basis von Wegpunkten und geg. weiterer Eingaben bestimmt wird
- Es werden dann nicht einzelne Parameter einer optimalen, sondern ganze Zeitreihen (Trajektorien) optimiert (Optimal-Steuerungstheorie)
- Lösungsverfahren: Direct-multiple-shooting (da auf diese Weise Randbedingungen in Form von Ungleichungen leicht berücksichtigt werden können)



Robot and Human Motion Lab

RAHM-LAB

@ DHBW Karlsruhe



Visit us at www.karlsruhe.dhbw.de/rahmlab

RoboGrind - Hybride KI für die flexible und hochautomatisierte Oberflächenbearbeitung

Projektpartner: IFF der Universität Stuttgart, Firma SHL AG,
Firma ArtiMinds Robotics GmbH

Projekt-Laufzeit: 01.10.2021 - 30.09.2023

Förderung durch: Invest BW



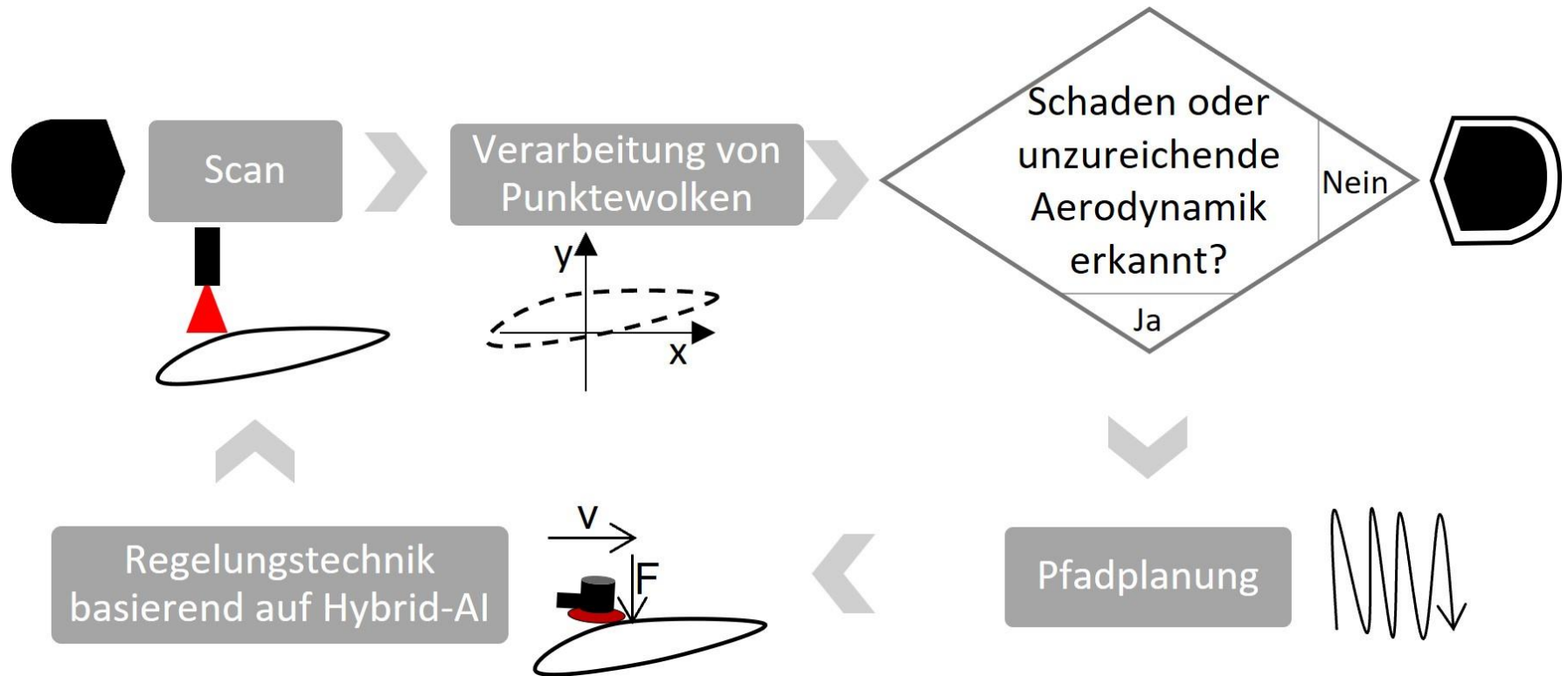
Ziel des Projekts RoboGrind

Vereinbarkeit von Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit durch automatisierte, KI-basierte Wiederaufbereitung:

- KI ermöglicht automatisierte, individuelle Reparatur
 - Verbindung von Sensoren zur Schadensdetektion mit Werkzeugen zur Oberflächenbearbeitung
 - Hybride KI: Verbindung von Fachwissen mit kontinuierlichem Lernen auf Basis von Feedback-Schleifen
 - Einsatz von Simulationsmodellen zur Planung und Schadensminimierung an Werkstücken
-



Workflow und Bestandteile von RoboGrind am Beispiel Windrad-Flügel-Aufbereitung





Konsortium

- **ArtiMinds:**
 - Projektkoordination
 - KI-basierte Bahnplanung und –regelung
 - Kraftregelung, Datenerfassung und –verarbeitung
 - Integration von Softwarekomponenten in ein Gesamtsystem
 - Bereitstellung von Schnittstellen
 - Umsetzung eines Demonstrators
 - **SHL:**
 - Evaluierung und Testdurchführung
 - Bereitstellung von Expertenwissen für Oberflächenbearbeitung und Sensortechnik
-



- **IFF:**
 - Forschung und Entwicklung von ML-Verfahren
 - Entwicklung der Taskplanung mit Reinforcement Learning
 - Entwicklung modell-prädiktiver, hybrider Regelungskonzepte
 - Simulationsumgebung auf Basis von MuJoCo
 - **DHBW:**
 - 3D-Modellierung und Vermessung von Werkstücken
 - Konzeptionierung des Bearbeitungsprozesses
 - Erstellung von Trainingsdatensätzen für KI-Verfahren
 - Entwicklung von Algorithmen zur Sensordatenverarbeitung und –analyse
 - Erstellung eines Modells zur Vorhersage von CFK-Materialabtrag
-

Integrationstreffen RoboGrind



TRAJO – Intuitiv konfigurierbare Trajekturen-Optimierung für flexible Roboteranwendungen

Projektpartner: Firma Wandelbot
Projekt-Laufzeit: 2.2.23 bis Ende 2024
Förderung durch: ZIM



Ziel des Projekts TRAJO

Software-Prototypen für die Optimierung von Roboter-Bewegungen

- Dabei soll es insbesondere möglich werden den Energieverbrauch und den Verschleiss des Roboters selbst zu reduzieren.
 - Komplexe Randbedingungen wie maximale Taktzeit und Drehmomente in den Aktuatoren, maximale Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Ruck müssen berücksichtigt werden
 - Eigenkollisionen der Robotersegmente und des Roboters mit der Umgebung müssen ausgeschlossen werden
-

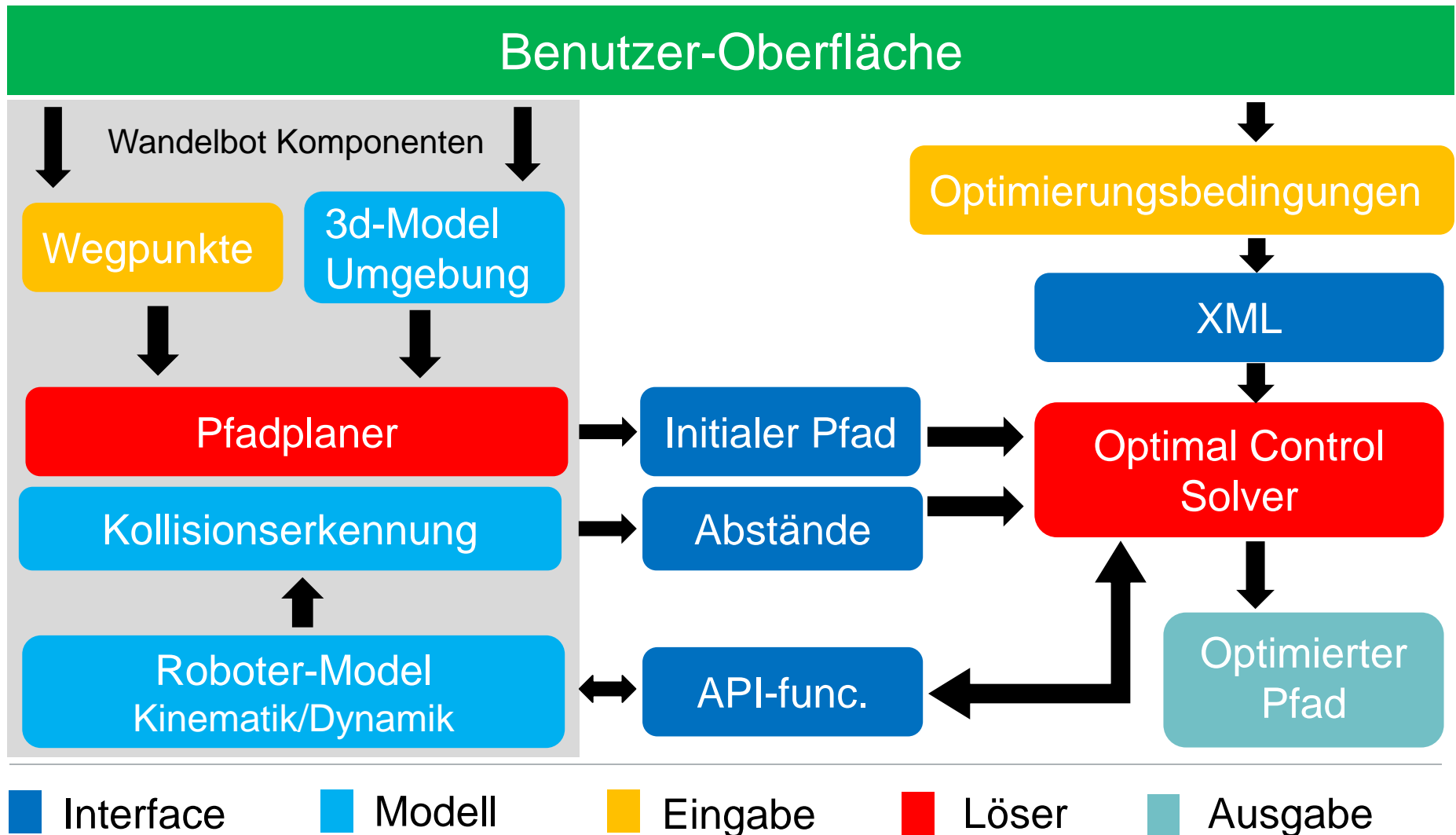


Kooperatives Forschungsprojekt

- **DHBW:**
 - Untersucht numerische Lösungsverfahren
 - Aufbau einer Software-Pipeline zur Optimierung
 - Vermessung (Stromverbrauch, Bewegungen, Kräfte/Momente)
 - Dabei Einbindung von Studierenden in Form von Studien- und Bachelor-Arbeiten
 - **Wandelbot:**
 - Entwickelt Schnittstellen für bestehende Komponenten als Python-Wrapper
 - Untersucht welche Kombinationen von Optimalitätskriterien und Randbedingungen in der Praxis wichtig sind
 - Baut einen Hardware-Prototypen auf
-

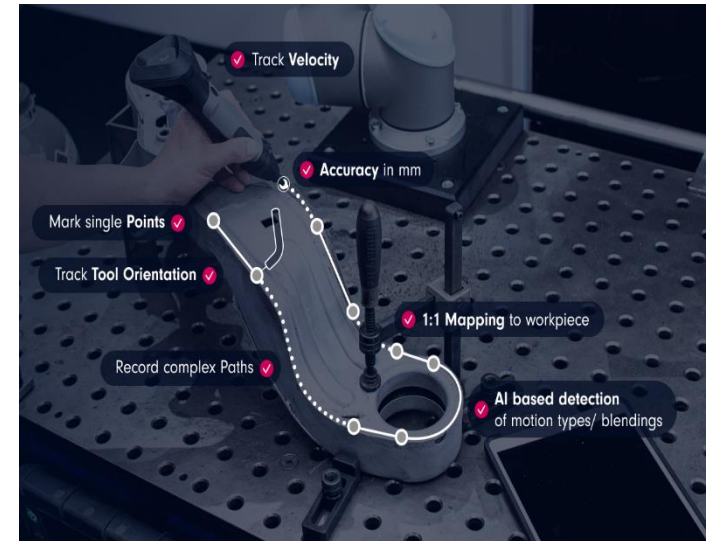


Software-Architektur



Optimierungs-Verfahren

- Gestartet wird mit einer nicht-optimalen initialen Trajektorie, die mit vorhandenen Codes auf der Basis von Wegpunkten und geg. weiterer Eingaben bestimmt wird
- Es werden dann nicht einzelne Parameter einer optimalen, sondern ganze Zeitreihen (Trajektorien) optimiert (Optimal-Steuerungstheorie)
- Lösungsverfahren: Direct-multiple-shooting (da auf diese Weise Randbedingungen in Form von Ungleichungen leicht berücksichtigt werden können)



Robot and Human Motion Lab

RAHM-LAB

@ DHBW Karlsruhe



Visit us at www.karlsruhe.dhbw.de/rahmlab