

# Teilvorhabenbeschreibung

Förderprogramm: „Digitale Technologien für die Wirtschaft“

Bilaterale deutsch-französische Kooperationen „Innovationsprojekte Für Künstliche Intelligenz“

**GreenBot-FORCE**

Im Verbund

GreenBotAI: Frugal and adaptive AI for flexible industrial Robotics

## **Name und Adresse des Antragstellers**

Hochschule München University of Applied Sciences  
Lothstr. 34  
80335 München

## **Ausführende Stelle:**

Fakultät für angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik - FK 06  
Prof. Ruth Otto - Professorin für Robotik und Automatisierungstechnik  
T +49 (0)89 1265-1650  
E [rotto@hm.edu](mailto:rotto@hm.edu)

## **Projektleitung**

Herr M.Eng, Diplôme d'ingénieur Rico Lser  
+49 371 5397-1431  
[Rico.Loeser@iwu.fraunhofer.de](mailto:Rico.Loeser@iwu.fraunhofer.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Ziele</b>	<b>2</b>
1.1 Gesamtziel des Teilvorhabens	2
1.2 Bezug zu förderpolitischen Zielen	3
1.3 Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele und wie diese erreicht werden sollen	4
<b>2. Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>6</b>
2.1 Arbeiten und Ergebnisse Dritter	6
2.2 Bisherige eigene Arbeiten zum Thema	6
2.3 Schutzrechte	8
<b>3. Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplanes</b>	<b>8</b>
3.1 Einführende Beschreibung des Arbeitsablaufs über die Projektzeit	8
3.2 Ausführliche Beschreibung der Arbeitspakete	12
3.3 Ressourcenplanung	26
3.3.1 Material	26
3.3.2 FE-Fremdleistungen	26
3.3.3 Investitionen/AfA	27
3.3.4 Reisen	28
3.3.5 Innerbetriebliche Leistungen	28
3.3.6 Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	28
3.3.7 Verwaltungskosten	28
3.3.8 Personal	29
<b>4. Verwertungsplan</b>	<b>29</b>
4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten mit Zeithorizont	29
4.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten mit Zeithorizont	30
4.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	30
4.4 Verwertungstabelle	31
<b>5. Arbeitsteilung / Zusammenarbeit mit Dritten</b>	<b>31</b>
<b>6. Notwendigkeit der Zuwendung</b>	<b>31</b>
<b>7. Literatur</b>	<b>32</b>

# 1. Ziele

## 1.1 Gesamtziel des Teilvorhabens

Das Teilvorhaben GreenBot-FORCE knüpft an die Ziele des Verbundvorhabens mit einer Fokussierung auf die Kraft-Momenten-Regelung an.

Im Verbundvorhaben werden Ansätze entwickelt und Lösungen erarbeitet, die es ermöglichen, Roboterprogrammierung im gesamten Lebenszyklus einer Anlage kognitiv, adaptiv und damit nachhaltig zu gestalten. GreenBot-FORCE demonstriert die Entwicklungen im Rahmen einer Applikation zum Fügen von Kegelrädern umgesetzt als Mensch-Roboter-Kollaboration.

Bei einem Fügevorgang muss der Roboter unter Aufbringung von Kräften und Momenten in unterschiedlichen Richtungen und Orientierungen schrittweise Zwischenpositionen anfahren, um die Endlage des Bauteils und damit die finale Fügeposition zu erreichen.

In jedem Regelvorgang ist ein Soll-Ist-Abgleich der Kraft- und Momentenwerte hinterlegt, der je nach Robotersteuerung in einem definierten Takt durchgeführt wird und in eine Regeldifferenz resultiert. Daraus ergibt sich eine neue Regelstrecke. Je schneller diese Differenz gegen Null geht, desto schneller erreicht der Roboter die optimale Position und die nächste Zwischenaufgabe oder Gesamtaufgabe kann umgesetzt werden.

Die Programmierung einer derartigen Applikation wird meist an einem Bauteil durchgeführt und danach an einigen weiteren getestet. Sämtliche Parameter werden auf diese Bauteile optimiert eingestellt. Dabei ist die Parameterwahl immer ein Kompromiss aus den für die Programmierung verwendeten Gegebenheiten. Zusätzlich kann es durch Lagetoleranzen, Bauteiltoleranzen oder Änderungen im Werkstoff großen Unterschieden und damit zu erheblich längeren Regelzyklen und Qualitätsunterschieden kommen.

Ein weiterer Punkt sind die Rahmenbedingungen. Bei der Programmierung wird von einer definierten Position ausgegangen. Durch die Bestimmung der Bauteillage sowohl als Startbedingung als auch im Verlauf der Anwendung können die Einflüsse dieser Randbedingungen in die Regelung miteingebracht und bei der Berechnung berücksichtigt werden.

Ein weiterer Ansatz gilt der Kraft-Momenten-Regelung, die speziell für den Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration benötigt wird. Mensch-Roboter-Kollaboration wird immer mehr fester Bestandteil der Automatisierung. Zum einen zeigt der demographische Wandel die Notwendigkeit auf, Arbeitsplätze in der Art zu gestalten, dass eine optimale Aufteilung der Tätigkeiten in kognitiv und repetitiv gewährleistet ist. Zum anderen wird dadurch die Teilautomatisierung von Tätigkeiten ermöglicht, die einen hohen manuellen Anteil besitzen. Eine stark vereinfachte Inbetriebnahme und Programmierung bietet somit die Möglichkeit, den Produktionsstandort Europa auszubauen und wirtschaftlich reizvoll umzusetzen.

Um die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter sicher zu gestalten, werden auf Grundlage der Normen DIN EN 10218, sowie ISO TS 15066 Kraft-Leistungs-Tests durchgeführt und im Rahmen einer Sicherheitsabnahme dokumentiert. Die Parametrierung der zulässigen Kräfte und Momente muss zugleich den prozessrelevanten Anforderungen wie Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Prozesskräften, Bauteiltoleranzen und Taktzeiten gerecht werden.

Dadurch ist für die sicherheitstechnische Konformität ein hoher Anteil an Arbeitszeit, Prozess- und Sicherheitstests und damit ein hoher Energieverbrauch verbunden.

Über die Rückkopplung aus den Kraft-Leistungs-Messungen in Verbindung mit den auftretenden Kräften und Momenten, den entsprechenden Körperteilen, sowie den vorliegenden Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Achsstellungen sollen Vorgaben für die Parametrierung der Kräfte und Momente am Roboter eruiert werden, um Inbetriebnahme-Zeiten und den damit verbundenen Energieverbrauch erheblich zu reduzieren.

Die Integration des von GrAI Matter Labs zu entwickelnden PCB ist hier Grundlage, um für den Anwendungsfall „Adaptionsfähige Kraft-Momenten Montage für Kegelräder in der Mensch-Roboter-Kollaboration“ folgende Aufgaben umzusetzen:

- Parametrierung der Anlage für die Mensch-Roboter-Kollaboration
- Fügeprozess für Kegelräder mit veränderten Lagebedingungen

Zusammenfassend soll durch den innovativen Ansatz der „On the fly“ Ausführung die Reduzierung des Energieverbrauchs je Roboter von bis zu 50 % nachgewiesen werden. Grundlage dafür liefern speziell entwickelte Algorithmen, durch die sowohl die Bahnplanung und damit die Taktzeit optimiert wird und zusätzlich die Inbetriebnahme- und Umrüstzeiten verkürzt werden. Änderungen in den Randbedingungen werden so mit ML-Ansätzen kontinuierlich integriert und führen zu einer Stabilisierung des Prozesses und ermöglichen damit auch eine zukünftige flexiblere Anwendung. Mit der Umsetzung eines resilienten Automatisierungskonzepts soll die Grundlage für weitere Anwendungsfelder geschaffen werden.

Die Ergebnisse werden anhand eines Demonstrators für den Anwendungsfall ‚Adaptionsfähige Kraft-Momenten Montage für Kegelräder in der Mensch-Roboter-Kollaboration‘ verwertet. Denkbar ist hier ebenfalls eine vergleichbare Anwendung im Bereich der sensitiven Montage. Der Demonstrator dient hierbei als Multiplikator für weitere Forschungsvorhaben und als Grundlage für die Entwicklung industrietauglicher Lösungen für andere Anwendungsfälle.

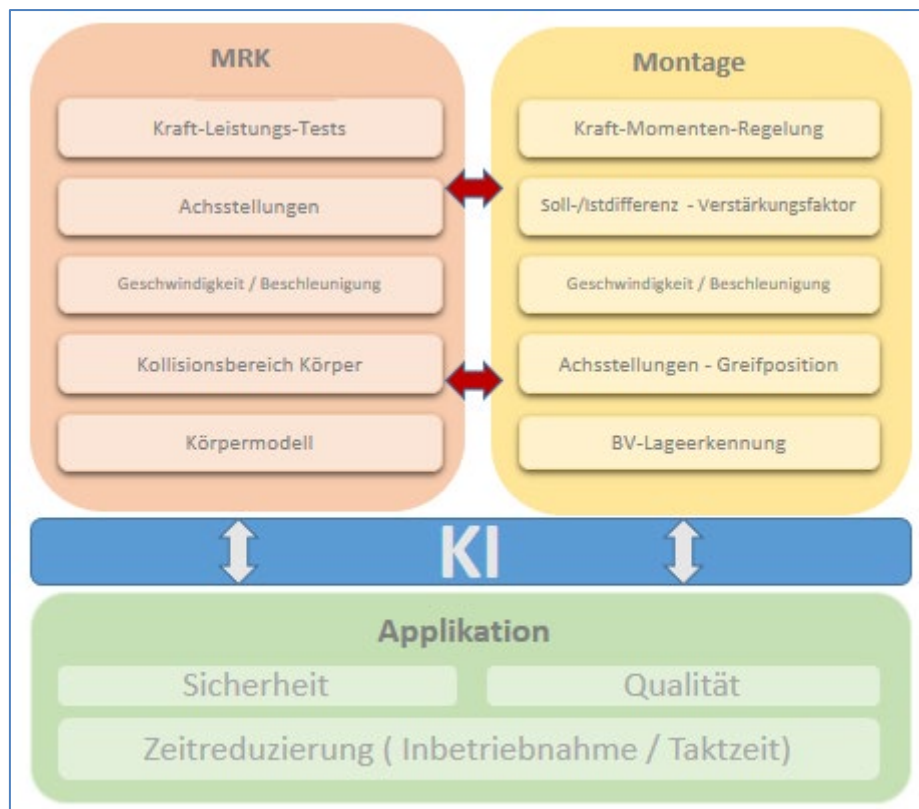


Abbildung 1 Schaubild Teilvorhaben GreenBot-FORCE

## 1.2 Bezug zu förderpolitischen Zielen

In Deutschland sind – nach den im Rahmen des EU-Klimaziel-Plans „Fit for 55“ formulierten Zielsetzungen – bis 2030 die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) gegenüber 1990 um 55 % zu senken. Für 2050 ist die Klimaneutralität angestrebt.

Gerade die Automatisierungsbranche hat damit die Aufgabe, ihren Beitrag dazu zu leisten und in zukünftigen Entwicklungen immer mehr die Reduzierung des Energieverbrauchs als wichtigen Bestandteil mitaufzunehmen.

GreenBot-FORCE hat sich hier zum Ziel gesetzt, durch die Reduzierung des Energieverbrauchs bei der Automatisierung von Roboteranlagen die Auswirkungen auf die Umwelt gerade im europäischen Raum zu minimieren. So wird an einem konkreten Anwendungsfall versucht, eine automatisierte Lösung zu entwickeln, die durch eine optimale Einsteuerung von Prozessgrößen die Bearbeitungszeit reduziert, den Verschleiß von Werkzeugen und Material minimiert und dadurch die Qualität steigert. Zudem ist damit eine deutliche Vereinfachung beziehungsweise Reduzierung der Programmierung und ein erheblicher Zeitgewinn verbunden.

GreenBot-FORCE unterstützt zudem maßgeblich, die Bestrebungen Montage-Arbeitsplätze zu automatisieren und Mensch-Roboter-Kollaboration in Kombination mit Kraft-Momenten-geregelter Montage oder jedes für sich als adaptiv kognitive Lösung umzusetzen. Damit wird ein großer Beitrag geleistet, um den Standort Europa wettbewerbsfähig zu halten und gerade nach den Erfahrungen im Zuge der Covid-19-Pandemie als Produktionsstandort zu erweitern. Dazu leistet auch der Aspekt der Sicherheitsparametrierung in der Mensch-Roboter-Kollaboration einen weiteren Beitrag. Durch die Vereinfachung und zeitliche Reduzierung, wird der Einsatz von kollaborierenden Robotern zusätzlich gestärkt. Hierdurch

wird die Automatisierung von arbeitskraftintensiven und meist nicht ergonomischen Produktionsanlagen in Europa gestärkt.

Die bilaterale Kooperation erhöht den erzielbaren Impact zur Reduzierung von THG-Emissionen gegenüber nationalen Projekten erheblich. Darüber hinaus hat eine solche Zusammenarbeit den Vorteil einen Technologievorsprung zu erzielen, da die spezifischen Kompetenzen der beteiligten Partner bzw. Kooperationsländer zielführend zusammen genutzt werden können. Ein Transfer auf ausländische Anwendungsbereiche und Märkte ist zudem einfacher umsetzbar und erhöht die wirtschaftliche Tragweite des Vorhabens signifikant. Hochqualifizierte Arbeitsplätze können in Europa gehalten und neue geschaffen werden.

Unsere Motivation ist, dass mit der Entwicklung adaptiver Technologien die Entscheidung von Unternehmen für eine Produktion in Europa gestärkt wird. Hierfür finden resiliente Automatisierungskonzepte Anwendung. Diese sollen einfach umsetzbar sein und eine hohe Variantenvielfalt ermöglichen, um anschließend kleine Losgrößen mit einem komplexen Aufgabenprofil umsetzen zu können.

Nachfolgende Tabelle fasst den konkreten Beitrag und die Wirkungen auf gesellschaftlicher Ebene von *GreenBot-FORCE* zur Erreichung der Ziele einer nachhaltigen Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland zusammen:

**Tabelle 1:** Bewertung des Beitrag von *GreenBot-FORCE* auf gesellschaftlicher Ebene

Ziel	Wirkung nach Umfang	Eintrittswahrscheinlichkeit	Beschreibung mit ggf. quantitativer Abschätzung
<b>7.1a bzw. 8.1: Ressourcenschonung</b>  Ressourcen sparsam und effizient nutzen	Hohe Wirkung	Sehr wahrscheinlich	Leistet hohen Beitrag zur Erhöhung der Endenergie- und Gesamtrohstoffproduktivität (BIP pro Einheit eingesetzter Energie)
<b>8.3 Wirtschaftliche Zukunftsvorsorge</b>  Gute Investitionsbedingungen schaffen – Wohlstand dauerhaft erhalten	Moderate Wirkung	Sehr Wahrscheinlich	Leistet Beitrag zur Investitionen in neue Ausrüstungen und in Forschung und Entwicklung dank neuer energiesparender Fertigungsmethodik
<b>8.4 Wirtschaftliche Leistungsfähigkeit</b>  Wirtschaftsleistung umwelt- und sozialverträglich steigern	Hohe Wirkung	Sehr wahrscheinlich	Ressourcenschonende Produktion, Automatisierung von nicht ergonomischen Tätigkeiten möglich, Resiliente Fertigung dank vereinfachter Implementierung neuer Automatisierungstechnologien und kontinuierlicher Fertigung
<b>13.1.a Klimaschutz</b>  Treibhausgase reduzieren	Sehr hohe Wirkung	Sehr wahrscheinlich	Geringerer Energieeintrag durch effizienten Materialeinsatz, Prozessrückkoppelung und reduzierte Produktionszeiten; Reduzierung des Energiebetrags pro Roboter bis zu 50 % durch „on the fly“ Programmierung und Einsatz Edge-KI

### 1.3 Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele und wie diese erreicht werden sollen

GreenBotAI hat sich im Verbund zum Ziel gesetzt Anwendungen in der industriellen Robotik mit Hilfe von KI flexibel, adaptiv und einfach zu gestalten. Um gerade die Vielfältigkeit beim Einsatz von Robotern in unterschiedlichen Anwendungsfeldern nicht zu beschränken, ist es notwendig, für dieses Vorhaben Kompetenzen aus unterschiedlichen Bereichen einzusetzen und auch zu bündeln. Für das Vorhaben sind herausragende Kompetenzen im Bereich des Maschinenbaus, der Simulation, der Robotik und der

Künstlichen Intelligenz erforderlich. Ein wichtiger Aspekt des Programms sieht den Austausch von Wissenschaftlern im Rahmen von experimentellen Arbeiten, Projekttreffen und Publikationen, sowie die Einbindung von Studierenden im Rahmen von Forschungsmasterprojekten vor. Die gemeinsamen Forschungsprojekte haben für alle Partner eine strategische Bedeutung. Das Teilvorhaben GreenBot-FORCE beinhaltet die technologischen Schwerpunkte (1) *Adaptive Kraft-Momenten-Regelung*, (2) *Echtzeitfähige Roboter*, (3) *Aufbau eines Demonstrators*, (4) *Kraftgeregelte Montage im MRK Betrieb*. Durch die unterschiedliche Ausprägung der Aufgabenstellungen und Arbeitsschwerpunkte bringt jeder Projektpartner seine Fähigkeiten in seinem Teilvorhaben speziell. Durch die Konsolidierung im Verbund können die Entwicklungen und Ausprägungen der Arbeiten von den anderen Partnern jeweils in ihrem Teilvorhaben integriert und damit ein zusätzlicher Projektfortschritt erzielt werden. Um einen kontinuierlichen Austausch der Projektpartner zu stärken, sind regelmäßige Arbeitstreffen und ein fachlicher Austausch im Projekt vorgesehen. Ein Überblick über Umsetzung der Schwerpunkte und anzuwendende Lösungswege ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

**Tabelle 2:** Zusammenfassung der wissenschaftlich-technischen Herausforderungen mit Lösungswegen

<b>Adaptive Kraft-Momenten-Regelung</b>	KI-basierte Kraft-Momenten-Regelung	<p>Verwendung von Gelenk-Moment-Sensoren, sowie eines Kraft-Momenten-Sensors im Rahmen einer standardisierten Kraft-Momenten-Regelung zur Datengewinnung des Soll-Ist-Verlaufs.</p> <p>Gegenüberstellung und Evaluierung von parameterbasierten KI-Modellen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>zum Einsatz in kraftgeregelten Applikationen unter Berücksichtigung der Rückführung in die Regelung, sowie Integration zusätzlicher merkmalsbasierter KI-Modelle zur Optimierung der Rahmenbedingungen</li> <li>bei Kraft-Leistungs-Messungen und deren Einfluss und Ausprägungen in Verbindung mit den gegebenen Normen und betroffenen Körperstellen</li> </ul>
<b>Echtzeitfähige Roboter</b>	Robuste (und echtzeitfähige) Kraft-Momenten-Regelung	<p>Integration des Hardwarekits von GrAI Matter Labs mit Latenzzeiten im Millisekundenbereich</p> <p>Anlernen der Algorithmen anhand von simulierten und realen Beispielen im digitalen Zwilling sowie am Demonstrator.</p> <p>Integration einer linearen Bewegung während des Prozesses bei zusätzlicher kraftgeregelter Montage.</p> <p>Erstellung eines Wissenskatalogs, um gewonnene Erkenntnisse im Konsortium auszutauschen und entwickelte Algorithmen zu testen</p>
<b>Aufbau eines Demonstrators</b>	<p>Abbildung des Anwendungsfalls</p> <p>Bewertung des Energieeinsparpotenzials</p>	<p>Kopplung an digitalen Zwilling zur Bewertung gewonnener Taktzeiten infolge adaptierter Regelparameter. Geeignete Definition der Abweichungen der Applikationsbedingungen für repräsentative Aussagen.</p> <p>Evaluierung adaptierter Regelparameter zur Kraft-Leistungsbegrenzung unter Berücksichtigung des gewonnenen Einsparpotentials.</p>
<b>Kraftgeregelte Montage im MRK Betrieb</b>	Inbetriebnahme und Anpassung durch Kraft-Leistungs-Rückführung	<p>Entwicklung einer ROS-Schnittstelle zwischen dem Robotersystem mit Kraft-Momenten-Regelung, dem Kamerasystem, dem Kraft-Leistungs-Messsystem und zum von GrAI Matter Labs entwickelten Chips, um über die konsolidierten Daten eine Aussage über das Ergebnis der Kraftregelung und die Qualität durchführen zu können.</p> <p>Im Rahmen von erweiterten Kraft-Leistungs-Messungen während des Betriebs werden die Daten ausgewertet, und die Einhaltung der erforderlichen Normen bewertet.</p>



## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

### 2.1 Arbeiten und Ergebnisse Dritter

Der Einsatz von KI Algorithmen in Robotik bietet Lösungen für Problemstellungen, die durch eine klassische Roboterprogrammierung nicht, nur sehr schwer oder mit kompromissbedingten Qualitäts- und Ressourceneinbusen gelöst werden können. Ein Beispiel dafür ist die kraftgeregelte Montage, bei der mit großem Programmieraufwand und viel Expertenwissen eine Applikation programmiert und parametrieren werden muss. Bereits leicht veränderte Startbedingungen, sowie Unterschiede im Material oder Bauteiltoleranzen haben eine große Auswirkung auf die Taktzeit und gegebenenfalls auf die Qualität des Ergebnisses. Zusätzlich ist damit häufig eine Programm- und Parameteranpassung verbunden, um erneut ein optimales Ergebnis zu erzeugen. So wird versucht, über einen KI-basierten rein kraftgeregelten Ansatz, die Startposition zu finden, um eine Fügeoperation durchzuführen [15]. Einen weiteren Bereich, der eng mit der Kraft-Momenten-Regelung einer Robotersteuerung verbunden ist, stellt Bahnplanung dar. Hier wurde ebenso eine [4] Methode durch den Einsatz eines KI-Modells entwickelt, die mittels sample-basierter Bahnplanung, eine wesentlich bessere Performance erzielt. In der Mensch-Roboter-Kollaboration stellt die Gewährleistung der Personensicherheit die entscheidende Herausforderung dar. Gerade die Sicherheitsparametrierung bedeutet einen erheblichen Aufwand in der Planung und Umsetzung, was eine Automatisierung oder Teilautomatisierung häufig unwirtschaftlich macht. Um hier Lösungen anzubieten werden die unterschiedliche Ansätze und Lösungsvorschläge entwickelt [16]. Außerdem wurde eine Methode im Bereich der KI entwickelt, bei dem versucht wird, durch eine offline Bahngenerierung basierend auf Sensordaten ein Hindernis zu umfahren. [17]

Die Bahnplanung eines Roboters stellt ein Echtzeitsystem dar, das gerade im Bereich der Kraft-Momenten-Regelung zusätzliche Faktoren innerhalb des Systemtakts berücksichtigen muss. Werden zusätzlich zu den Kraft-Momenten-Werten noch weitere Daten – wie aus dem Bereich der Bildverarbeitung - berücksichtigt, spielt die Latenz und Effizienz des eingesetzten Systems eine große Rolle. Dabei sind die eingesetzte Hardware und die verwendeten Algorithmen gleichermaßen wichtig.

Die Optimierung verschiedener Hardware-Architekturen für den Einsatz beim Maschinellen Lernen ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten [5]. In [6] wurde ein Speichersystem für den Einsatz bildverarbeitender Modelle entwickelt. Sogenannte Field Programmable Gate Arrays (FPGA) können anstelle von CPUs oder GPUs genutzt werden, um die Latenz oder den Energieverbrauch der Auswertelgorithmen zu verbessern. In [7] wurde ein FPGA genutzt, um die Latenz beim Einsatz eines Decision Trees wesentlich zu verkürzen.

Neben der Hardware gibt es auch viele Ansätze, die darauf abzielen die Effizienz der verwendeten Algorithmen zu verbessern.

Den Antragstellern sind keine Arbeiten bekannt, die das Zusammenspiel aus optimierter Hardware und frugalen Algorithmen nutzen, um eine ressourcen- und latenzarme Robotersteuerung mit ML-Methoden und „on the fly“-Ausführung konkreter Aufgaben zu gewährleisten.

### 2.2 Bisherige eigene Arbeiten zum Thema

Die Kompetenzen der Hochschule liegen in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung. Im Rahmen von Projekten, die gemeinsam mit der Industrie aufgesetzt und durchgeführt werden, stehen Fragen in Zusammenhang mit dem Einsatz von Sensorik – bildgebend oder kraftgeregelt – in Verbindung mit Robotik häufig im Vordergrund. Aufgabenstellungen zur Optimierung von kraftgeregelten Tätigkeiten sind ein Anwendungsfeld. So wurde durch die kontinuierliche Einstreuung von Sollwerten die Möglichkeit geschaffen, eine Kraftregelung an neue Gegebenheiten anzupassen. Ein Ergebnis dieser Arbeit ist, dass die Soll-/Ist Differenz in der Regelung bei gleichbleibender Konfiguration nicht komplett oder nur über einen langen Zeitraum abgebaut werden kann. Dies ist ein Thema, das im Rahmen des Teilvorhabens bearbeitet und mit Hilfe von frugalen Algorithmen und auf der Grundlage von aufgezeichneten Daten gelöst werden soll.

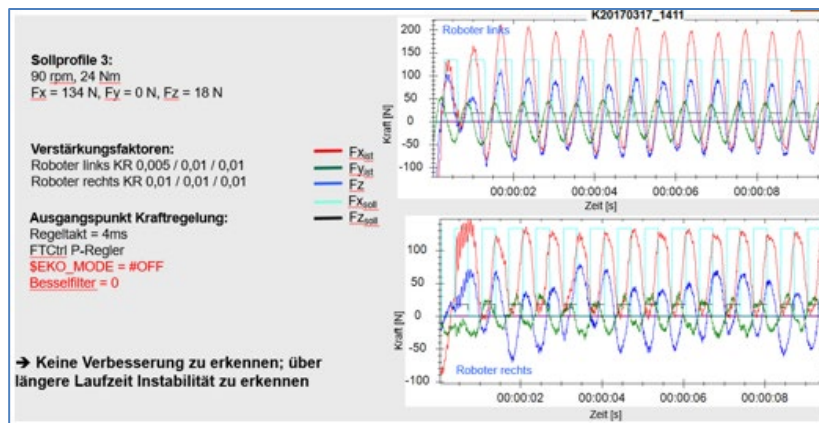


Abbildung 2 Entwicklung von Kraftwerten bei variierender Sollwertvorgabe

Ein weiterer Kompetenzbereich ist die Mensch-Roboter-Kollaboration. So sind für eine Sicherheitsinbetriebnahme viele unterschiedliche Tests erforderlich. Im Falle einer Anpassung der Anlage ist eine erneute Durchführung der Tests notwendig, um die Personensicherheit zu jedem Zeitpunkt zu gewährleisten. Diese Tatsache bedeutet einen hohen wirtschaftlichen Einsatz gerade auch, wenn Flexibilität ein wichtiger Aspekt für eine Automatisierung ist. Viele Tests im Rahmen von Industrieprojekten liefern Messungen für Kraft und Leistung, die im Falle einer Kollision auftreten.

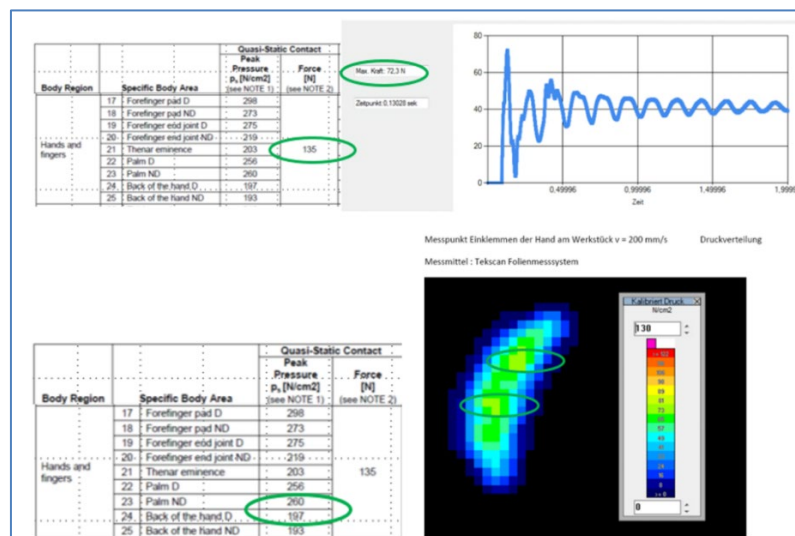


Abbildung 3 Messungen Kraft und Leistung mit Einordnung ins Körpermodell

Diese Ergebnisse werden normgerecht in die Werte des Körpermodells eingeordnet und festgelegt. Eine Rückführung und Weiterverwertung der gemessenen Werte, sowie die Integration des Körpermodells für eine modelbasierte Voraussage der Parameter, ist Teil des Vorhabens und wird einen deutlichen Vorsprung im Bereich der Flexibilität und Wirtschaftlichkeit von MRK-Anlagen bedeuten.



## 2.3 Schutzrechte

Patent	Titel	Anmelder, Datum	Bewertung
DE 197 46 639 A1	Verfahren zur digitalen Erfassung räumlicher Objekte und Szenen für eine 3D-Bildkarte	GTA Geoinformatik GmbH, 17033 Neubrandenburg, DE, 22.10.1997	Die Erzeugung einer 3-dimensionalen Szene anhand von Einzelaufnahmen ist <b>nicht relevant</b> .
DE 39 17 760 C1	Verfahren und Vorrichtung zur Erkennung von Objekten in Video-Echtzeit	Wimmer, Maximilian, 8000 München, DE, 31.05.1989	Erkennung von Objekten in Videos ist <b>nicht relevant</b> .
DE 103 48 911 A1	Verfahren zum Bestimmen der Disparität zwischen einem Referenzbild und einem Suchbild	Siemens AG, 80333 München, DE, 21.10.2003	Bestimmung der Disparität ist <b>nicht relevant</b> .
EP 2 048 599 B1	System und Verfahren zur 3D-Objekterkennung	MVTec Software GmbH, 81675 München (DE), 11.10.2007	Zu entwickelndes Verfahren zur 3D-Lagebestimmung anhand von 2D-Bildern grenzt sich von dem im Patent beschriebenen Verfahren ab.

## 3. Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplanes

### 3.1 Einführende Beschreibung des Arbeitsablaufs über die Projektzeit

Das Teilvorhaben (TV) *GreenBot-FORCE* folgt der grundlegenden Struktur des binationalen Verbundvorhabens GreenBotAI mit insgesamt neun Verbundarbeitspaketen (VAP).

In VAP1 wird ein Gesamtkonzept entwickelt, das als Grundlage für die weiteren Entwicklungen dient und zeitgleich eine zeitliche und aufwandstechnische Einordnung ermöglicht. Das Konzept soll die Gesamtziele des Verbundvorhabens, die Energieeinsparung je Roboter von bis zu 50 % abbilden. Im TV der Hochschule München erfolgt dies für den in Kapitel 1 beschriebenen Anwendungsfall „Adaptionsfähige Kraft-Momenten Montage für Kegelhäder in der Mensch-Roboter-Kollaboration“.

Das VAP 2 zielt auf die Entwicklung einer neuen Chip-Generation mit zugehöriger Leiterplatte ab. Dieses Kit-System ist als zentrales Element aller im Konsortium zu entwickelnder Demonstratoren anzusehen und soll die Echtzeitfähigkeit der Anwendungen, sowie die angestrebte Energieminderung ermöglichen. Die Hochschule München übernimmt hier eine unterstützende Rolle. Auf Basis von mehreren Testreihen unter realen Einsatzbedingungen für den konkreten Anwendungsfall werden die Funktionalitäten des Kits evaluiert und Optimierungen abgeleitet.

Da am Realsystem Roboter Fehlversuche schnell mit mechanischen bzw. personellen Schäden verbunden sind, verfolgt VAP3 die Umsetzung einer Laufzeitumgebung für KI-Simulationen sowie eines digitalen Zwillings. Dieser soll zum einen die Prozesse ganzheitlich abbilden sowie als Evaluierungsumgebung für zu entwickelnde Algorithmen dienen. Die Hochschule München plant als weitere Funktionalität die Integration des Körpermodells auf Basis der Technical Specification ISO TS 15066.

Im VAP4 werden die frugalen Algorithmen prototypisch für die Softwaremodule Objekterkennung, Segmentation, Positionserkennung, Griffwinkelbestimmung, mit einem Hauptaugenmerk auf die Themen Bahnplanung und Kollisionsdetektion, sowie Kraft-Momenten-Regelung bei integrierter Qualitätskontrolle entwickelt. Im aus VAP3 erarbeiteten digitalen Zwilling kann die Funktionalität überprüft werden und Optimierungen abgeleitet werden. Die bereits generierte Datengrundlage kann folglich erweitert werden, was zudem die Robustheit der KI-basierten Lernalgorithmen erhöht.

Im folgenden VAP5 werden die einzelnen Softwaremodule, Objekterkennung, Bahnplanung mit dem Fokus auf Kraft-Momenten-Kontrolle bei abschließender Qualitätskontrolle der Ergebnisse, schrittweise auf die industriennahe Hardware appliziert und in den aufzubauenden Systemdemonstrator implementiert. Der Anwendungsfall „Adaptionsfähige Kraft-Momenten Montage für Kegelhäder in der Mensch-Roboter-Kollaboration“ wird damit vollumfänglich demonstriert. Die im Konsortium erarbeiteten Lösungen im Bereich Chip und Algorithmen für die Anwendungsfälle der Partner werden ebenfalls integriert. Der im Konsortium zu erfolgende Austausch zu Softwarelösungen ist im VAP6 festgehalten.

Wenn alle Teilmodule erfolgreich appliziert wurden, kann das komplette Zusammenspiel aller prototypischen Softwarefunktionen in VAP7 erprobt, validiert und optimiert werden. Es erfolgen die Funktionstests der Demonstratoren im Anwendungsszenario. Gemäß den entwickelten Versuchsplänen werden Versuche durchgeführt und die zuvor entwickelten Optimierungsstrategien auf die Szenarien angewendet. Abschließend erfolgt eine Validierungsphase unter Produktionsbedingungen, welche durch die assoziierten Firmen und Konsortialpartner begleitet werden. Eine Bewertung des Impacts auf die Nachhaltigkeit wird umgesetzt.

In VAP8 verfolgt die Weitergabe der Ergebnisse in Form von Publikation und Fachtagungen, um die neuen Lösungen von GreenBotAI in Europa einem breiten Publikum zu präsentieren.

Abschließend ist noch VAP9 zu erwähnen, welches den kontinuierlichen Projektfortschritt gewährleisten soll. Für eine bessere Steuerung und Evaluierung des Projektfortschritts wurden für das TV zusätzliche Meilensteine zu den vier Verbundmeilensteinen eingeführt:

Meilenstein	Monat	Beschreibung
<b>M1</b>	4	Anforderungskatalog abgeschlossen
<b>M2</b>	9	Grobkonzeption abgeschlossen & Wissenskatalog zu geeigneten KI-Simulationen und Algorithmen erstellt, Robotersystem + KMS für Datengrundlage In Betrieb genommen
<b>M3</b>	16	Beschaffung der restlichen Komponenten des Demonstrators erfolgt & Prototyp virtuelle Testumgebung & Algorithmen für Grundfunktionen virtuell erprobt
<b>M4</b>	24	Funktionsnachweis der entwickelten Algorithmen unter Einsatz des Prototyp Demonstrators bei realen Bedingungen, Optimierungspotenziale abgeleitet
<b>M5</b>	29	Demonstrator mit geforderten Spezifikationen vollumfänglich in Betrieb genommen, Energieeinsparungspotenzial abgeleitet
<b>M6</b>	33	Validiertes und optimiertes Gesamtsystem mit im Projekt entwickelter Hardware unter Laborbedingungen umgesetzt

**M1** mit folgenden Zielen:

- Definition der Randbedingungen und Anforderungen an Demonstrator, inkl. Story und Design
- Nachweis der Umsetzbarkeit des Vorhabens
- Pflichtenheft als Grundlage für die Weiterbearbeitung

Abbruchkriterien	Alternatives Vorgehen
Randbedingungen und Anwendungsfall aufgrund von Verzögerungen noch nicht abgeschlossen	Kommunikation Konsortialpartnern stärken, Zeitverzug durch parallele Arbeiten an verbleibenden Inhalten aus AP1 und AP2 ausgleichen
Kein stimmiger Anforderungskatalog sowie Story und Design für Anwendungsfall	-

**M2** mit folgenden Zielen:

- Anforderungen sind klar definiert und bilden ein Gesamtkonzept
- Wissenskatalog in Zusammenarbeit mit Partnern erstellt
- Inbetriebnahme des rudimentären Aufbaus zur folgenden Datengenerierung

Abbruchkriterien	Alternatives Vorgehen
Kein definierbares Gesamtkonzept	-
Lieferschwierigkeiten Roboter / KMS	Datengenerierung bei Projektpartner
Stark unterschiedliches Knowhow	Workshops mit dem Ziel Wissenstransfer

**M3** mit folgenden Zielen:

- restliche Komponenten für Demonstrator definiert und beschafft
- Umsetzung virtuelle Testumgebung – Prototyp
- Datengenerierung
- Nachweis Funktionalität entwickelter Algorithmen

Abbruchkriterien	Alternatives Vorgehen
Lieferverzögerungen bei Beschaffung und Ausschreibung notwendiger Komponenten	Kontakt mit Lieferanten stärken, Alternativen suchen

**M4** mit folgenden Zielen:

- Integration Körpermodell abgeschlossen
- Nachweis der Umsetzung im Bereich MRK - Einsparpotential

Abbruchkriterien	Alternatives Vorgehen
Verzögerung bei Chip Entwicklung 1.Gen	Optimierung der Algorithmen, Austausch mit Chipentwickler
Energieeinsparungspotenzial nicht nachweisbar	Optimierung der Modelle, Überprüfung der Vorgehensweise und Methoden

**M5** mit folgenden Zielen:

- Validierung Inbetriebnahme MRK
- Integration und Test Kraft-Momenten-Regelung mit Qualitätsprognose
- Nachweis Einsparungspotential 30%

Abbruchkriterien	Alternatives Vorgehen
Echtzeitanforderung nicht ausreichend	Weitere Optimierungen integrieren
Einsparpotential nicht ausreichend	Weitere Ansätze integrieren

**M6** mit folgenden Zielen:

- Applikation adaptive Kraftregelung im MRK-Bereich als Demonstrator integriert
- Energieeinsparpotential von 50%
- Chip der zweiten Generation integriert
- Qualitätsprognose integriert



### 3.2 Ausführliche Beschreibung der Arbeitspakete

AP-Nr.: 1.1	Anforderungsanalyse	
Startdatum:	03/2022	
Enddatum:	04/2022	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes	<i>Erstellung Anforderungsanalyse</i>	
2. Voraussetzung (Input)	<i>Stand aktueller Entwicklungen und Arbeiten</i>	
3. Lösungsweg	<i>Auf Basis eigener und im Konsortium bereits vorhandener Erkenntnisse und Entwicklungen sollen Anforderungen für das TV definiert werden. Eine projektspezifische Austauschplattform wird eingerichtet.</i>	
Arbeitsschritt 1:	<i>Aufbereitung vorhandener Kompetenzen für Konsortium und Definition Anforderungen</i>	1 PM (Master)
Personalaufwand gesamt (in PM)	1 PM	
4. Ergebnis (Output)	<i>Anforderungsanalyse als Bestandteil für Anforderungskatalog</i>	
5. Sonstige Ressourcen	-	
AP-Nr.: 1.2	Story und Design	
Startdatum:	04/2022	
Enddatum:	06/2022	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes	<i>Ausarbeitung des Anwendungsfalls inkl. der Randbedingungen</i>	
2. Voraussetzung (Input)	<i>Anforderungsanalyse</i>	
3. Lösungsweg	<i>In Abstimmung mit assoziierten Partnern soll der konkrete Anwendungsfall für den Demonstrator spezifiziert werden. Modulare Anforderungen an die Umgebung werden erarbeitet. Ein erstes Konzept des Demonstrators wird entwickelt.</i>	
Arbeitsschritt 1:	<i>Erarbeitung Pflichtenheft inkl. Konzept für Anwendungsfall „Adaptionfähige Kraft-Momenten Montage für Kegelräder in der Mensch-Roboter-Kollaboration“</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	2 PM	
4. Ergebnis (Output)	<i>Pflichtenheft für Anwendungsfall „Adaptionfähige Kraft-Momenten Montage für Kegelräder in der Mensch-Roboter-Kollaboration“</i>	
5. Sonstige Ressourcen	-	
AP-Nr.: 1.3	Schnittstellenentwicklung für Modularitätsanforderungen	
Startdatum:	06/2022	
Enddatum:	08/2022	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes	<i>Schnittstellendefinition für Hardwarekomponenten und Softwarebausteine</i>	
2. Voraussetzung (Input)	<i>Anforderungsanalyse (AP 1.1), Erste Ergebnisse aus Story und Design (AP 1.2)</i>	
3. Lösungsweg	<i>Um im Ansatz schon zu Beginn multiple Kriterien zu verfolgen, werden Schnittstellen zwischen den in AP 1.2. ausgearbeiteten Anwendungsfällen identifiziert. Weiterhin werden konkret Anforderungen an Hardware und Software für „Adaptionfähige Kraft-Momenten Montage für Kegel-</i>	

<i>räder in der Mensch-Roboter-Kollaboration“ erarbeitet und erste Schnittstellen (z.B. , Java, ROS 2) in bestehende Software exemplarisch umgesetzt.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Identifikation und Umsetzung von Schnittstellen</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	2 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Schnittstellen zur Übertragbarkeit erarbeiteter Lösungen</i>	
5. Sonstige Ressourcen -	

AP-Nr.: 2.1	Definition Hardwarespezifikationen erste Generation	
Startdatum:	05/2022	
Enddatum:	06/2022	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Hardwarespezifikationen für Chip</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Anforderungsanalyse (AP 1.1)</i>		
3. Lösungsweg <i>Auf Basis der Anforderungsanalyse werden Hardwarespezifikation für den von GML zu entwickelnden Chip definiert.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Unterstützung bei der Ausarbeitung der Hardwarespezifikationen auf Basis eigener Entwicklungen und für den konkreten Anwendungsfall</i>	1 PM (Master)	
Personalaufwand gesamt (in PM)	1 PM	
4. Ergebnis (Output) <i>Lastenheft erste Generation</i>		
5. Sonstige Ressourcen -		
AP-Nr.: 2.3	Test und Erprobung erste Generation	
Startdatum:	08/2023	
Enddatum:	11/2023	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Erprobung des Chips an Demonstrator</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Prototyp 1 des Chips von GML (AP 2.2) &amp; frugale Algorithmen (AP 4)</i>		
3. Lösungsweg <i>Die Funktionsfähigkeit des entwickelten Prototyps des Chips von GML soll unter realen Einsatzbedingungen am bereits verfügbaren (Teil-)Demonstrator für den von der Hochschule München (HM) ausgewählten Anwendungsfall getestet werden.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Einbindung des Chips in bestehenden Demonstrator (ROS-Schnittstelle, Hardware-Anbindung) und Durchführung definierter Testzyklen</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)	
Personalaufwand gesamt (in PM)	1 PM	
4. Ergebnis (Output) <i>Optimierungskatalog für zweite Generation</i>		
5. Sonstige Ressourcen -		
AP-Nr.: 2.4	Definition optimierte Hardwarespezifikationen zweite Generation	
Startdatum:	10/2023	
Enddatum:	01/2024	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Optimierungsachsen für zweite Generation</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Vorliegende Testergebnisse aus AP 2.3</i>		
Lösungsweg <i>Auf Basis der Testergebnisse aus AP 2.3 werden in Zusammenarbeit</i>		



<i>mit GML Optimierungssachsen für die zweite Generation für den Anwendungsfall identifiziert.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Unterstützung Erarbeitung Optimierungskatalog</i>		0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)		1 PM
3. Ergebnis (Output) <i>Optimierungskatalog für zweite Generation</i>		
4. Sonstige Ressourcen -		
AP-Nr.: 2.6	Test und Erprobung zweite Generation	
Startdatum:	08/2024	
Enddatum:	11/2024	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Funktionalitätsbestätigung der zweiten Generation</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Prototyp 2 des Chips von GML (AP 2.2) &amp; frugale Algorithmen (AP 4)</i>		
3. Lösungsweg <i>Die Funktionsfähigkeit des optimierten entwickelten Chip-Prototyps von GML soll vollumfänglich am Demonstrator getestet werden.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Einbindung des Chips zweite Generation in bestehenden Demonstrator und Funktionalitätsprüfung</i>		1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)		1 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Implementierter und optimierter Chip zweite Generation in Demonstrator</i>		
5. Sonstige Ressourcen -		

AP-Nr.: 3.1	Entwicklung echtzeitfähiger 3D-Modelle	
Startdatum:	06/2022	
Enddatum:	08/2022	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Digitale Testumgebung</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Problemstellung und Randbedingungen des betrachteten Anwendungsfalls.</i>		
3. Lösungsweg <i>Um die Echtzeit-Fähigkeit der Modelle zu adressieren, werden verschiedene Strategien verwendet. Durch die Simulation elementarer Konfigurationen und Fehlerkontrolltechniken werden die Strategien validiert.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Entwicklung von Analysen und Auswahl statistischer Ansätze zur Effizienzsteigerung und Kartenerstellung</i>		1 PM (Master)
Personalaufwand gesamt (in PM)		1 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Echtzeitfähige KI-Modelle</i>		
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>		
AP-Nr.: 3.2	Auswahl und Adaption geeigneter KI-Simulationen	
Startdatum:	09/2022	
Enddatum:	11/2022	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>KI-Simulationsumgebung, das eine optimale Korrelation aus Monitoring, Rahmenbedingungen und Systemreaktionen liefert</i>		
2. Voraussetzung (Input)		

<i>Auswahl Softwareframeworks AP 6.1; Echtzeitfähige 3D Modelle (AP 3.1)</i>		
3. Lösungsweg <i>Es erfolgt die Auswahl und der Test verschiedener KI-Simulationsumgebungen. In diese werden die in AP 3.1 erstellten 3D-Modelle integriert. Die Modelle werden zusätzlich an die zu berücksichtigenden physikalischen Probleme (Kraft-Momenten-Richtungen, Abbruchkriterien) angepasst. Des Weiteren werden die physikalischen Modelle durch reale Beobachtungen und Messungen korrigiert und in die Simulationsumgebung integriert.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Prüfung und Auswahl verschiedener KI-Simulatoren. in Kombination mit einer Evaluierung der Randbedingungen und abschließender Modellerweiterung</i>		0,5 PM (Master)
Arbeitsschritt 2: <i>Integration in die Simulationsumgebung.</i>		0,25 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 1: <i>Implementierung von Rahmenbedingungen im Hinblick auf den konkreten Anwendungsfall.</i>		0,25 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)		1 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Lauffähige KI-Simulatoren</i>		
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>		
AP-Nr.: 3.3	Aufbau Datengrundlage	
Startdatum:	09/2022	
Enddatum:	05/2023	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Aufbau Datengrundlage</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Entwicklung echtzeitfähiger 3D-Modelle (AP 3.1); Aufbau und Inbetriebnahme der Systemdemonstratoren (5.1); Systemimplementierung Objekt greifen (5.2); Systemimplementierung Bahnplanung (5.3)</i>		
3. Lösungsweg <i>Da ein entscheidender Aspekt beim Maschine-Learning die geeignete Datenbasis darstellt, sollen relevante Daten gesammelt werden. Hierfür werden die vorhandenen Daten zur Kraft-Momenten-Regelung, sowie für die Kraft-Leistungs-Messung sowie aus Literatur und Experiment erzeugte Daten als Grundlage dienen. Zusätzlich werden Daten aufgezeichnet, die in einer vergleichbaren Kraftregelung an der gewählten Maschine auftreten. Eine Vorverarbeitung der Daten (Segmentierung, Skalierung) sowie eine Datenanalyse (Dimensionsreduktion, Clustering) sind außerdem geplant.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Erarbeiten eines virtuellen Versuchsplans</i>		1 PM (Master)
Arbeitsschritt 2: <i>Literarische, applikationsspezifische Aufnahme von Daten</i>		1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 3: <i>Vorverarbeitung der Daten und Bereitstellung geeigneter Parameterdarstellungen für die Integration in KI-Modelle</i>		1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)		3 PM

4. Ergebnis (Output) <i>Datenbank</i>	
Sonstige Ressourcen <i>Roboter, Kraft-Momenten-Sensor, Anteil Konstruktion, Anteil SPS Unterstützung durch die EPF</i>	
AP-Nr.: 3.4	Entwicklung digitale Zwilling für Demonstrator
Startdatum:	10/2022
Enddatum:	08/2023
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Digitaler Zwilling von Demonstrator „Adaptionfähige Kraft-Momenten Montage für Kegelräder in der Mensch-Roboter-Kollaboration“</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Echtzeitfähige Modelle (AP 3.1), geeignet KI-Simulatoren (AP 3.1), erste Daten aus AP 3.3</i>	
3. Lösungsweg <i>Die erzeugten synthetischen Daten werden mit den Realdaten verglichen und damit validiert. Es erfolgt eine Optimierung hinsichtlich der Übereinstimmung mit den Realdaten. Daten für die Regelparameter, Rahmenbedingungen, sowie Grenzwerte der verwendeten Sensorik sind auf Basis des zuvor realisierten virtuellen Zwillings zu erzeugen, um eine Überlastung der Sensorik und damit einen Hardwareschaden zu vermeiden.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Grundstruktur, Simulationsabbildung</i>	1 PM (Master)
Arbeitsschritt 2: <i>Implementierung einer applikations- und roboterspezifischen Kraft-Momenten-Regelung; Optimierung unter Berücksichtigung vorhandener Daten</i>	0,5 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 3: <i>Umsetzung simulierte Kraft-Momenten-Regelung / Kraft-Leistungs-Begrenzung</i>	0,5 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	4 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Umgesetzter Digital Prototype als Test- und Laufzeitumgebung für KI-Simulationen</i>	
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>	

AP-Nr.: 4.1	Erstellung Wissenskatalog zu Machine Learning
Startdatum:	06/2022
Enddatum:	11/2022
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Gemeinsamer Wissenskatalog zu Machine Learning für einheitliches Verständnis hinsichtlich der nötigen Methoden, deren Möglichkeiten sowie Limitierungen</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Problemstellung und Randbedingungen des betrachteten Anwendungsfalls. Methodenspezifisches Wissen und Praxiserfahrung der beteiligten Partner.</i>	
3. Lösungsweg <i>Je nach Anwendungsdomäne sind zum Teil verschiedene Begriffe für die Problemstellung und die verwendeten ML-Methoden etabliert. Außerdem haben die Partner des Projektes unterschiedlich viel Erfahrungen in der Anwendung von ML-Methoden. Zugeschnitten auf die spezifizierten Problemstellungen / Aufgaben der ML-Modelle wird eine Auswahl möglicher Methoden festgehalten. Dabei werden insbesondere die Erfahrungen der Partner mit bestimmten Algorithmenklassen mit einfließen.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Erarbeitung des Wissenskataloges in Workshops, Anwendung der Methoden an Dummy-Daten</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)

Personalaufwand gesamt (in PM)		2 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Wissenskatalog (Dokument)</i>		
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>		
AP-Nr.: 4.2	Entwicklung Objekterkennung und Segmentierung	
Startdatum:	10/2022	
Enddatum:	03/2023	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>In diesem Arbeitspaket sollen Methoden zur Objekterkennung und Segmentierung als Teil des KI-Frameworks für die Rahmenbedingungen (z.B. Startposition, Bandbewegung) der Montagetätigkeit konzipiert und trainiert werden.</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Echtzeitfähige Modelle (AP 3.1), Erste Ergebnisse aus AP 3.2 und AP 3.3 sowie Gemeinsames Verständnis und Auswahl der möglichen Methoden aus AP 4.1</i>		
3. Lösungsweg <i>Um die Rahmenbedingungen für optimale Montageaufgaben mit einbringen zu können, werden klassischer Bildverarbeitungsmethoden verwendet. Daten sollen aus bildgebender Sensorik (3D- und Farbkamera) aufgenommen und ausgewertet werden. In Abhängigkeit der detektierten Startposition wird die optimale Startposition als zusätzlicher Parameter mitvorgegeben und zusätzlich zu den parameterbasierten KI-Modelle mit vorverarbeiteten Daten aus AP 3.2 verarbeitet.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Integration der Objekterkennung und Kombination der Ergebnisse als Grundlage für eine Kraft-Momenten-Regelung</i>		1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)		2 PM
4. Ergebnis (Output) <i>ML-Framework für Kraft-Momenten-Regelung mit erweitertem Parametersatz aus Objekterkennung.</i>		
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>		
AP-Nr.: 4.3	Entwicklung Positionserkennung und Griffwinkelbestimmung	
Startdatum:	12/2022	
Enddatum:	06/2023	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Prototypisches Softwaremodul für Positionserkennung und Griffwinkelbestimmung</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Echtzeitfähige Modelle (AP 3.1), Erste Ergebnisse aus AP 3.2 und AP 3.3 sowie Wissenskatalog Machine Learning (AP 4.1) und Entwicklung Objekterkennung und Segmentierung (AP 4.2)</i>		
3. Lösungsweg <i>Die KI-Modelle aus dem Testdatensatz zur Objekterkennung sowie erste Lösungen aus AP 4.2 sollen hinsichtlich der Eignung zu einer exakten Positionserkennung des Objekts evaluiert werden. Die bestimmte Position dient als Griffwinkelbestimmung des Roboters. Bei der Berechnung und Optimierung der Algorithmen hinsichtlich ungünstiger Lagen werden digitale und reale Ergebnisse, sowie unterschiedliche Verfahren der Ermittlung gegenübergestellt.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Umsetzung Positionserkennung</i>		1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Umsetzung Griffwinkelbestimmung</i>		1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)		2 PM

4. Ergebnis (Output) <i>ML-Framework für Kraft-Momenten-Regelung mit erweitertem Parametersatz für Positionserkennung und Griffwinkelbestimmung</i>	
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>	
AP-Nr.: 4.4	Entwicklung Bahnplanung und Kollisionsüberwachung
Startdatum:	10/2022
Enddatum:	06/2023
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Prototypisches Softwaremodul für Bahnplanung und Kollisionsüberwachung</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Echtzeitfähige Modelle (AP 3.1), Erste Ergebnisse aus AP 3.2 und AP 3.3 sowie Wissenskatalog Machine Learning (AP 4.1)</i>	
3. Lösungsweg <i>Technische Herausforderung ist, dass die finalen Algorithmen in Echtzeit auf der Industrie-Hardware lauffähig sein müssen, um latenzarme Handlungen und Reaktionen des Roboters zu erhalten, ohne die eine Akzeptanz und Überführung in industrielles Umfeld nicht gegeben ist. Unter diesen Voraussetzungen werden Algorithmen entwickelt, welche eine schonende Bahnplanung und Kollisionsbetrachtung ermöglichen. Als Simulationsgrundlage dient der prototypische digitale Zwilling. Zusätzlich werden die Betrachtungen an der realen Anlage verifiziert. Daraus werden Erkenntnisse in Bezug auf eine Prozessausführung gewonnen und rückgeführt. Für den MRK Bereich wird die Bahnplanung und Kollisionsvermeidung zusätzlich um die Anforderungen des Körpermodells erweitert. Informationen zu Beschleunigung, Position und Lage sollen ebenfalls integriert werden.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Entwicklung Bahnplanung prozessorientiert</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Entwicklung Kollisionsüberwachung prozessorientiert</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 3: <i>Entwicklung Bahnplanung MRK</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Entwicklung Kollisionsüberwachung MRK</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 3: <i>Optimierung der Algorithmen hinsichtlich Laufzeit (Latenz) und Dateneffizienz</i>	1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	5 PM
4. Ergebnis (Output) <i>ML-Framework sowie Bildverarbeitungspipeline für Bahnplanung und Kollisionsüberwachung</i>	
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>	
AP-Nr.: 4.5	Entwicklung Qualitätskontrolle
Startdatum:	12/2022
Enddatum:	07/2023
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Erstellung eines ML-Modells, welches die Produktqualität anhand der vorhandenen Input-Daten prognostizieren kann</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Echtzeitfähige Modelle (AP 3.1), Erste Ergebnisse aus AP 3.2 und AP 3.3 sowie Wissenskatalog Machine Learning (AP 4.1)</i>	
3. Lösungsweg <i>Prozessgekoppelte Inline-Qualitätskontrolle durch ML-Algorithmen. Auf Grundlage der vorhandenen Parameter und resultierenden Daten soll eine Vorhersage der zu erwartenden Güte gemacht werden.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Konzept der Qualitätskontrolle</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)

Arbeitsschritt 2: <i>Implementierung der Prädiktion</i>	1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	2 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Modul zur Vorhersage der Montagegüte</i>	
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>	
AP-Nr.: 4.6	Entwicklung Kraft-Momenten-Regelung
Startdatum:	12/2022
Enddatum:	08/2023
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Erstellung eines ML-Modells, welches die Kraft-Momenten-Regelung anhand der vorhandenen Input-Daten sowohl applikationsspezifisch als auch für eine MRK-Inbetriebnahme adaptieren kann.</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Echtzeitfähige Modelle (AP 3.1), Erste Ergebnisse aus AP 3.2 und AP 3.3 sowie Wissenskatalog Machine Learning (AP 4.1)</i>	
3. Lösungsweg <i>Für die applikationsspezifische Kraft-Momenten-Regelung soll eine Korrelations-/Redundanzbestimmung der verschiedenen Randbedingungen, Parameterkonfigurationen und Rückkopplungsdaten erfolgen, um eine geeignete Auswahl zu treffen. Zusätzlich soll aus den Datenquellen der externen Kraft-Leistungs-Sensorik und den Normengrundlagen des Körpermodells eine geeignete Datengrundlage gelegt werden. Die wissenschaftliche Herausforderung besteht in der Konzeption und Entwicklung zum einen der Verbindung zwischen dem KI Framework und der Rückkopplung der generierten Daten in die Echtzeit-Regelung der Robotersteuerung, zum anderen in die Anpassung der Parameterkonfiguration einer MRK-Parametrierung.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Korrelations- und Sensitivitätsanalyse; Darauf aufbauend Auswahl geeigneter Inputdaten/Sensorinformationen, sowie prozessbegleitender Parameter.</i>	1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Korrelations- und Sensitivitätsanalyse; Darauf aufbauend Auswahl geeigneter Inputdaten/Sensorinformationen, zusätzlicher Informationen des Körpermodells und der Kollisionsstellen</i>	1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 3: <i>Auswahl und Kombination geeigneter ML-Algorithmen zur Entwicklung des KI-Frameworks für Kraft-Momenten-Regelung beider Anwendungsfelder</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 4: <i>Konzeption und Umsetzung der Konfiguration zur Kraft-Momenten-Regelung</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	6 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Trainierte Modelle für Kraft-Momenten-Regelung zur applikationsspezifischen Anwendung und für MRK-Inbetriebnahme</i>	
5. Sonstige Ressourcen <i>Unterstützung durch die EPF</i>	
AP-Nr.: 5.1	Aufbau und Inbetriebnahme des Systemdemonstrators
Startdatum:	03/2023
Enddatum:	06/2024
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Prototypische Softwaremodule in einem Systemdemonstrator zusammen zu führen</i>	
2. Voraussetzung (Input)	



<i>Konzeptentwicklung (AP 1) sowie erste Ergebnisse aus (AP 3) und (AP 4) für Konstruktion und Beschaffung; Für Implementierung Entwicklung virtuelle Testumgebung und prototypische frugale Algorithmen vorhanden</i>		
3. Lösungsweg <i>Im ersten Schritt ist der Systemdemonstrator, entsprechend der Konzipierung zu Beginn des Projekts, aufzubauen und in Betrieb zu nehmen. Entsprechend müssen die Komponenten wie Roboter, Steuerung, Kameras, Kraft-Momenten-Sensorik etc. beschafft werden. Des Weiteren ist die Entwicklung eines Schnittstellensystems zur übergeordneten Koordination des Demonstrators mit dem integrierten Chip umzusetzen. Es muss eine Kommunikation zwischen Roboter, Kraft-Momenten-Sensor aufgebaut werden und die Kraftregelung integriert werden. Zusätzlich muss eine Anbindung zwischen Roboter und dem Messsystem für Kraft-Leistungs-Messungen aufgebaut werden. Eine Anbindung an den digitalen Zwilling ist ebenfalls vorgesehen.</i>		
Arbeitschritt 1: <i>Konstruktion und Beschaffung Demonstrator</i>		1,5 PM (Master) 1,5 PM (Bachelor)
Arbeitschritt 2: <i>Mechanischer Aufbau und Integration der Schnittstellen des Demonstrators</i>		1,5 PM (Master) 1,5 PM (Bachelor)
Arbeitschritt 3: <i>Softwaretechnischer Aufbau des Demonstrator</i>		1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)		8 PM
4. Ergebnis (Output) Aufgebauter und in Betrieb genommener Systemdemonstrator für „Automatisierte		
5. Sonstige Ressourcen Roboter, Steuerungstechnik, Rechentechnik, Kraft-Momenten-Sensor, Kamerasystem, Sensorik, Konstruktion, Kabeltechnik (vgl. Ressourcenbeschreibung Kapitel 3.3.1)		
AP-Nr.: 5.2	Systemimplementierung Objekt greifen	
Startdatum:	06/2023	
Enddatum:	11/2023	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Implementierung der entwickelten Pakete in den Demonstrator</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Frugale Algorithmen Objekt- und Positionserkennung sowie Greifwinkelbestimmung (AP 4.2 und 4.3)</i>		
3. Lösungsweg <i>Die frugalen Algorithmen und entwickelten Frameworks werden über die Schnittstellen in den Demonstrator implementiert und auf ihre grundlegende Funktionalität geprüft. Zusätzlich sollen die von den Konsortialpartnern entwickelten Algorithmen auf die Rahmenbedingungen der Applikation angepasst und integriert werden.</i>		
Arbeitschritt 1: <i>Implementierung und Optimierung Objekt (z.B. Direkte Rückkopplung aus KM-Regelung als Grundlage ) greifen.</i>		1 PM (Master)
Arbeitschritt 2: <i>Integration Algorithmen Partner</i>		1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)		2 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Softwaremodul Objekt greifen lauffähig</i>		
5. Sonstige Ressourcen <i>Greifertechnik, Kamerasystem</i>		
AP-Nr.: 5.3	Systemimplementierung Bahnplanung und Kollisionsüberwachung	
Startdatum:	06/2023	
Enddatum:	02/2024	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Implementierung der entwickelten Frameworks in Demonstrator</i>		
2. Voraussetzung (Input)		

<i>Frugale Algorithmen Bahnplanung und Kollisionsüberwachung (AP 4.4)</i>	
3. Lösungsweg <i>Die frugalen Algorithmen und entwickelten Frameworks werden über die Schnittstellen in den Demonstrator implementiert und auf ihre grundlegende Funktionalität geprüft. Prozessorientiert erfolgt dies stufenweise für unterschiedliche Teilschritte des Prozesses. Als Zusatz wird die Funktionalität in einem nächsten Schritt während einer Bandbewegung ausgeführt. Für den MRK-Bereich wird die Funktionalität als Teil einer Inbetriebnahme integriert. Eine Anbindung an den entwickelten ersten Prototyp des Chips ist notwendig, um eine echtzeitfähige kognitive Programmierung zu realisieren sowie die Performance (Echtzeitfähigkeit, Energieverbrauch, Taktzeit, Bahnplanung etc.) entwickelter Algorithmen und des Chips abschätzen zu können. Verschiedene Ansätze (eigene und von Konsortialpartnern) sollen verglichen und gegebenenfalls angepasst werden.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Implementierung Bahnplanung und Kollisionsbetrachtung prozessorientiert am ruhenden Objekt</i>	1 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Implementierung Bahnplanung und Kollisionsbetrachtung prozessorientiert am linear bewegten Objekt</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 3: <i>Implementierung Bahnplanung und Kollisionsbetrachtung MRK</i>	1 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	4 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Bahnplanung und Kollisionsüberwachung am sich bewegenden Objekt lauffähig</i>	
5. Sonstige Ressourcen <i>Kamerasystem, Greifertechnik, Rechentechnik</i>	
AP-Nr.: 5.4	Systemimplementierung Visual Servoing und Kraft-Moment-Kontrolle
Startdatum:	07/2023
Enddatum:	06/2024
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Implementierung der erarbeiteten Lösungen der Projektpartner zu Visual Servoing und Kraft-Moment-Kontrolle in Demonstrator</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Bereitgestellte Frameworks und Wissen zu Visual Servoing und Kraft-Moment-Kontrolle</i>	
3. Lösungsweg <i>Die entwickelten frugalen Algorithmen für die Kraft-Momenten-Regelung sollen in den Demonstrator implementiert werden. Hierbei ist wieder die Aufteilung in die Inbetriebnahme des Roboters und die daraus resultierende Konfiguration, sowie die eigentliche prozessorientierte Anwendung der Algorithmen durchzuführen. Die Entwicklung des Partners ENSAM zu Visual-Servoing sollen ebenfalls in den Demonstrator implementiert werden. Hierfür ist der konkrete Anwendungsfall der kraftgeregelten Kegelradmontage zu berücksichtigen. Zusätzliche Sensorik für eine ganzheitliche Prozessüberwachung ist zu integrieren.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Implementierung Kraft-Moment-Regelung prozessorientiert</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Implementierung Kraft-Moment-Regelung MRK</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 3: <i>Implementierung Visual Servoing ENSAM</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	6 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Prototypische Umsetzung Kraft-Moment-Regelung und Visual Servoing für kraftgeregelten Kegelradmontage im MRK Betrieb</i>	

5. Sonstige Ressourcen <i>Sensorik, Kamerasystem, Greifertechnik, Rechentechnik</i> <i>Unterstützung durch EPF</i>	
AP-Nr.: 5.5	Systemimplementierung Qualitätskontrolle
Startdatum:	03/2024
Enddatum:	06/2024
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Implementierte Qualitätskontrolle</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Entwickeltes KI-Framework für Qualitätskontrolle (AP 4.5)</i>	
3. Lösungsweg <i>Das entwickelte KI-Framework zur Vorhersage der Qualität wird in den Systemdemonstrator implementiert. Die Auswertung von wichtigen Kennzahlen wie Schleppfehler, Wiederholbarkeit, Genauigkeit, Energieverbrauch oder Zykluszeit wird auf dem übergeordneten Rechner ausgewertet.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Integration KI-Framework in Demonstrator</i>	0,75 PM (Master) 0,25 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Auswertung, Test und Optimierung</i>	1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	2 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Integrierte Qualitätsprognose als Ergebnis der Kraftregelung</i>	
5. Sonstige Ressourcen: -	

AP-Nr.: 6.1	Vergleich verfügbarer Softwareplattformen und Schnittstellen	
Startdatum:	03/2022	
Enddatum:	08/2022	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Auswahl geeigneter Softwareplattformen und Schnittstellen für Anwendungsfall</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Anforderungen (AP 1)</i>		
3. Lösungsweg <i>Evaluierung bestehender, auf dem Markt verfügbarer Softwareplattformen und Schnittstellen, die für das Projekt geeignet sind (z.B. ROS)</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Analyse bestehender Softwarelösungen der einzelnen Partner</i>	0,75 PM (Master)	
Arbeitsschritt 2: <i>Identifikation von Bedarfen, Abgleich mit auf dem Markt verfügbaren oder freien Softwarelösungen</i>	0,75 PM (Bachelor)	
Arbeitsschritt 3: <i>Festlegung der zu verwendenden Frameworks und Schnittstellen</i>	0,5 PM (Master)	
Personalaufwand gesamt (in PM)	2 PM	
4. Ergebnis (Output) <i>Im Projekt zu verwendende Software Frameworks</i>		
5. Sonstige Ressourcen: -		
AP-Nr.: 6.2	Integration der entwickelten Bibliotheken und Algorithmen des Konsortiums	
Startdatum:	09/2022	
Enddatum:	11/2024	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Wissensaustausch im Konsortium</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Auswahl Softwareframeworks (AP 6.1)</i>		
3. Lösungsweg <i>Die in AP 6.1 identifizierten Softwareframeworks werden in eine gemeinsame Plattform integriert und damit allen Partnern des Konsortiums zur Verfügung gestellt.</i>		

Arbeitsschritt 1: <i>Integration vorhandener Software-Frameworks in die gemeinsame Plattform</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	1 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Optimierte Algorithmen, Gleicher Wissensstand wie Projektpartner</i>	
5. Sonstige Ressourcen: -	

AP-Nr.: 7.1	Erprobung und Optimierung Objekt greifen	
Startdatum:	01/2024	
Enddatum:	05/2024	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Die entwickelte Lösung für die Aufgabe "Objekt greifen" soll anhand realistischer Szenarien erprobt und validiert werden. Dabei soll das System auch unter ungünstigen Bedingungen getestet und optimiert werden, um eine Funktionalität bei modifizierten Objekten (Oberflächenstruktur, Beleuchtung) oder schwieriger Positionierung zu gewährleisten</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Systemimplementierung Objekt greifen am Demonstrator (AP 5.2)</i>		
3. Lösungsweg <i>Für die Erprobung und Optimierung der entwickelten Lösung werden Test-szenarien konzipiert, welche eine Anwendungsnahe Bewertung von Funktionalität und Robustheit im Realbetrieb zulassen. Diese werden dann in Versuchen am Demonstrator durchgeführt, um Optimierungspotentiale abzuleiten und das System iterativ zu verbessern.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Konzeption und Durchführung Testszenarien, Identifikation von Optimierungspotentialen, iterative Verbesserung</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)	
Personalaufwand gesamt (in PM)	1 PM	
4. Ergebnis (Output) <i>Optimierte auf Anwendungsfall zugeschnittene Funktion Objekt greifen</i>		
5. Sonstige Ressourcen: <i>Greifertechnik</i>		
AP-Nr.: 7.2	Erprobung und Optimierung Bahnplanung	
Startdatum:	03/2024	
Enddatum:	07/2024	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Die entwickelte Lösung zur Bahnplanung soll anhand realistischer Szenarien erprobt und validiert werden. Hierbei soll besonders die Standardbahnplanung und Wiederholgenauigkeit und Reproduzierbarkeit des Systems verifiziert und optimiert werden. Dies gilt sowohl für die Bahnplanung der Kraftregelung des Prozesses als auch für eine stabile Bahnplanung der jeweiligen MRK-Konfiguration</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Systemimplementierung Bahnplanung am Demonstrator (AP 5.3)</i>		
3. Lösungsweg <i>Erprobung, Validierung und Optimierung der identifizierten Algorithmen unter Einbeziehung der Simulation unter stabilen Bedingungen.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Iterative Durchführung von Testszenarien zur Validierung und Optimierung der prozessorientierten Bahnplanung.</i>	1 PM (Bachelor)	
Arbeitsschritt 2: <i>Iterative Durchführung von Testszenarien zur Validierung und Optimierung der Bahnplanung im MRK-Betrieb.</i>	1 PM (Bachelor)	
Personalaufwand gesamt (in PM)	2 PM	
4. Ergebnis (Output) <i>Optimierte Bahnplanung mit hohem Energieeinsparpotenzial</i>		
5. Sonstige Ressourcen: -		
AP-Nr.: 7.3	Erprobung und Optimierung Visual Servoing und Kraft-Moment-Kontrolle	

Startdatum:	05/2024
Enddatum:	11/2024
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Prozessgekoppelte Kraft-Momenten-Regelung im MRK Betrieb</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Kraft-Momenten-Regelung am Demonstrator implementiert (AP 5.4)</i>	
3. Lösungsweg <i>Die Steuerung des Systemdemonstrators ist zu vervollständigen. Ziel ist es, sowohl die Funktionsfähigkeit, als auch die Erprobung, Bewertung und Beseitigung möglicher Fehlverhalten und Einschränkungen zu evaluieren. Dazu werden variierende Rahmenbedingungen, wie ungünstige Startpositionen, unterschiedliche Materialien und Bauteiltoleranzen vorgegeben und deren Auswirkung auf das Ergebnis bewertet. Um den MRK Betrieb ausreichend zu validieren, werden Kollisionen herbeigeführt und die Einhaltung der Anforderungen des Körpermodells bewertet. Der Aspekt einer kundenwirksamen Präsentation wird ebenfalls berücksichtigt, indem eine intuitive Bedienung und aussagekräftige Visualisierungen umgesetzt wird, die den digitalen Zwillings, sowie Prozessparameter für eine ganzheitliche Prozesskontrolle vereint.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Erprobung des implementierten Systems prozessorientiert in Kombination mit MRK-Betrieb</i>	0,5 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Optimierung des Gesamtsystems hinsichtlich Applikation</i>	0,5 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 3: <i>Optimierung des Gesamtsystems hinsichtlich Präsentation, Bedienerfreundlichkeit, Übersichtlichkeit</i>	1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	4 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Voll funktionsfähiger Demonstrator für Anwendungsfall</i>	
5. Sonstige Ressourcen: -	
AP-Nr.: 7.3	Erprobung und Optimierung Qualitätskontrolle
Startdatum:	05/2024
Enddatum:	08/2024
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Prozessgekoppelte Qualitätskontrolle im MRK Betrieb</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Qualitätskontrolle am Demonstrator implementiert (AP 5.5)</i>	
3. Lösungsweg <i>Als Ergebnis der Kraftregelung im MRK-Betrieb soll eine Aussage über die Qualität des Ergebnisses getroffen werden. So ist zum einen auf Grund der rückgeführten Daten eine Prognose getroffen worden, die anhand vorher festgelegter Rahmendbedingungen überprüft werden soll. (erreichte Endposition). Zusätzlich werden die Prognosen für die Kraft-Leistungs-Begrenzung mit den tatsächlich erzeugten Kräften und Drücken abgeglichen und das System auf Grundlage der Ergebnisse nochmals optimiert.</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Erprobung des implementierten Systems durch Verifikation der Prognosen im Prozess bei MRK-Betrieb</i>	0,5 PM (Master) 0,5 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	1 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Voll funktionsfähiger Demonstrator für Anwendungsfall</i>	
5. Sonstige Ressourcen: -	
AP-Nr.: 8	Dokumentation, Ergebnisdissemination
Startdatum:	12/2024
Enddatum:	02/2025
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes	



<i>Verbreitung der Projektergebnisse eines breiten Publikums, Publikationen</i>	
2. Voraussetzung (Input) <i>Projektergebnisse</i>	
3. Lösungsweg <i>Geeignete Präsentationen und Vermarktungsstrategien sollen erarbeitet werden. Die Präsentation gewonnener Erkenntnisse und Lösungen werden exemplarisch anhand des Systemdemonstrators auf Messen und Tagungen realisiert. Dort sind wissenschaftliche Publikationen und Fachvorträge angestrebt. Ein Internetauftritt des Vorhabens soll umgesetzt werden. Für die Verwertung der Einzelmodule werden Strategien</i>	
Arbeitsschritt 1: <i>Ergebnisdissemination in Form von Tagungen, Publikation o.Ä.</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Arbeitsschritt 2: <i>Vermarktungsstrategien, Teilnahmen an Messen</i>	1 PM (Master) 1 PM (Bachelor)
Personalaufwand gesamt (in PM)	4 PM
4. Ergebnis (Output) <i>Interessierte Kunden und Partner für zukünftige Forschungsvorhaben</i>	
5. Sonstige Ressourcen: <i>Unterstützung durch EPF</i>	

AP-Nr.: 9	Projektmanagement (Konsortialführung)	
Startdatum:	03/2022	
Enddatum:	02/2025	
1. Ziel des Arbeitspaketes/Unterarbeitspaketes <i>Kontinuierliche und ergebnisorientierte Projektsteuerung zur Sicherung des wissenschaftlichen Fortschritts unter Einhaltung der zeitlichen und finanziellen Rahmenbedingungen</i>		
2. Voraussetzung (Input) <i>Projektstand</i>		
3. Lösungsweg <i>Das Fraunhofer IWU übernimmt auf deutscher Seite die übergeordnete Projektkoordination mit dem französischen Partner GRAI Matter Labs. Regelmäßige Telefon- /Webkonferenzen werden eingeführt. Diese dienen zur Klärung organisatorischer Angelegenheiten, zum Statusabgleich und Zielsetzung der nächsten Teilschritte und Arbeitstreffen. Mindestens halbjährig sollen Projektstatustreffen stattfinden, um detailliert über die erreichten Zwischenergebnisse zu diskutieren und aktuell anstehende Projektthemen weiter zu intensivieren. Regelmäßige Risikoanalysen und Maßnahmen zur frühzeitigen Abwendung werden durchgeführt.</i>		
Arbeitsschritt 1: <i>Konsortialführung und Treffen</i>	3 PM (Master)	
Arbeitsschritt 2: <i>Austausch der Ergebnisse und Planung weiterer Arbeiten</i>	3 PM (Master)	
Personalaufwand gesamt (in PM)	6 PM	
4. Ergebnis (Output) <i>Finanziell und ergebnisorientiertes Projekt unter Einhaltung aller Rahmenbedingungen</i>		
5. Sonstige Ressourcen: -		



### 3.3 Ressourcenplanung

#### 3.3.1 Material

Pos. 0838 – 0842 ( □□0843 Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben)

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Darstellung der Notwendigkeit	Kosten (ohne MwSt.)
1	Open Access Publikationen	Im Laufe der Projektzeit ist die Veröffentlichung von Projektergebnissen in einschlägigen wissenschaftlichen Journals geplant. In 2023 und 2024 ist je eine Open Access Publikation im Journal of Advanced Robotic Systems geplant	4.000 €

#### 3.3.2 FE-Fremdleistungen

Die EPF (Ecole d'ingénieur-e-s) in Paris hat eine herausragende Expertise im Bereich der KI. Unter der Leitung von Professorin Elisabeth Lacazedieu Longatte, werden Dr. Cédric Zaccardi und Dr. Amin Zammouri das TV unterstützen. Beide arbeiten bereits seit Jahren im Bereich der künstlichen Intelligenz, speziell auch auf dem Gebiet der embedded Sensorik und Aktorik, sowie Fehlerkontrolle und Reduktionsmethodik, so dass ein gemeinsames Verständnis der Anforderungen und notwendigen Entwicklungsstufen gegeben ist.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Anzahl	Darstellung der Notwendigkeit	Kosten (ohne MwSt.)
1	Unterstützung im Bereich KI Entwicklung	1	Die Hochschule München hat eine langjährige Erfahrung im Bereich der industriellen Anforderungen und deren Lösungen sowohl im Bereich der kraftgeregelten Prozesse als auch im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration. Um die Anforderungen und Strategien im Bereich der künstlichen Intelligenz weiter zu fokussieren und durch die langjährige Erfahrung der EPF in Paris auf diesem Arbeitsgebiet zu stärken, soll in drei Arbeitspaketen eine Zusammenarbeit mit der EPF stattfinden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung virtuelle Testumgebung</li> <li>• Entwicklung frugaler Algorithmen</li> <li>• Implementierung Demonstrator, Benchmarking</li> </ul> Durch diese Zusammenarbeit bedeuten gerade diese Strategien und die gemeinsame Arbeit eine Kompetenzerweiterung für die Hochschule München.	29.000 € Siehe Angebot_EPF-proposal contribution to Hochschule project.pdf
2	Schulung	1	Durch die Teilnahme am Seminar LBR iiwa - Inbetriebnahme und Programmierung wird die Einarbeitungszeit in herstellerspezifische Programmierung des Roboters verkürzt und das KnowHow im Bereich der MRK-Programmierung, der Programmierung von Kraftregelungsaufgaben, sowie in Schnittstellen und Kommunikation wird ausgebaut. Damit können die eigentlichen Aufgaben im Projekt effizienter umgesetzt werden.	2.945,25 € Siehe Angebot_3200234 168_KUKA_ProgLBR_KW 49ff.pdf

### 3.3.3 Investitionen/AfA

#### Pos. 0831 (Gegenstände bis zu 800 EUR)

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Anzahl	Darstellung der Notwendigkeit	Kosten (ohne MwSt.)
1	Steuertechnik	10	SPS,CPU, E/A Module, Memory Card, Verkabelungselemente etc. Bibliotheken und Lizenz	5.000 €
2	Greifersystem	10	Norm-/Kaufteile zum Einsatz am Roboter als Greifer (z. B. Profile, Elektronik, Antrieb)	5.000 €
3	Sensorik	10	Sensorik zur Absicherung des Demonstrators und als Zusatzelement für das Kraft-Leistungs-Messgerät	4.500 €
4	Konstruktion	10	Befestigungselemente (Roboterstellplatz, Kamerafixierung, Kraft-Leistungs-Messgerät)	5.000 €

#### Pos. 0850 (Gegenstände und andere Investitionen über 800 EUR)

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Anzahl	Darstellung der Notwendigkeit	Kosten (ohne MwSt.)
1+2	Roboter inkl. Steuerung (Hardware + Software)	1	Um den Anwendungsfall der adaptiven Kegelradmontage im MRK-Betrieb in geforderter Taktzeit nachzuweisen, wird ein Roboter benötigt, der mit dem sicherheitstechnisch erforderlichen Performance Level (PLd Cat.3) ausgestattet ist. Hierfür wurde ein Leichtbaurobster LBR iiwa gewählt. Dieser Roboter bietet zusätzlich zu der Fähigkeit, im MRK-Bereich zu arbeiten, auch die Funktionalität der Kraft-Momenten-Regelung durch integrierte Gelenkmomentsensoren. Die hohe Konfigurierbarkeit der Robotersteuerung ermöglicht einen umfangreichen Einsatz sowohl im Bereich der Kraft-Momenten-Regelung als Prozesswerkzeug, sowie im MRK-Bereich. Die Traglast und der Arbeitsraum wurden so gewählt, dass durch die Integration einer zusätzlichen Last (Kamera, KMS) das Aufbringen einer Prozesskraft weiterhin möglich ist.	66.304,78 € Siehe <i>Angebot_KUKA_Roboter_Quote_00086489.pdf</i>
3+4	Bildverarbeitungssystem (Hardware + Software)	1	Für die Lagebestimmung der Startposition des Roboters und der damit verbundenen Sensordatenfusion der BV-Daten und Kraftregelungsdaten ist die Beschaffung eines Bildverarbeitungssystems notwendig. Zusätzlich soll das System des Partners IWU zu einem späteren Zeitpunkt integriert werden. Hierfür sind zwei zusätzliche Kameras vorgesehen.	19.694,74 € Siehe <i>Angebot_RAUSCHER GmbH_2021091706.pdf</i>
5	Kraft-Momenten-Sensor	1	Bei Standardrobotern ohne Gelenkmomentsensoren wird eine prozessbezogene Kraft-Momenten-Regelung durch den Einsatz eines Kraft-Momenten-Sensors (KMS) umgesetzt. Zusätzlich bietet ein KMS die Möglichkeit, bei schwierigen Ansätzen direkt dort zu messen, wo die Kräfte auftreten und damit ein noch besseres und ein zusätzliches Ergebnis der Messungen zu erhalten. Um eine umfangreiche Datengrundlage im Bereich der Kraft-Momenten-Regelung zu erhalten wurde ein 6D-Sensor eingeplant.	8.796,12 € Siehe <i>Angebot_SCHUNK_2021-09-15_10314044.pdf</i>
6	Rechnertechnik	1	Leistungsfähiger Rechner, um die massive parallelisierte Datenauswertung für die Qualitätskontrolle (Kraft-Momenten-Regelung, Geometrieabgleich, Bildverarbeitung) am Demonstrator durchzuführen. Hierfür wurde der selbe Rechner berücksichtigt, den auch das IWU vorschlägt, um bei der Integration	13.533,00 € Siehe TV IWU

			deren Systems ausreichend Kapazität zur Verfügung zu haben.	
7	Bedienpanel	1	Bedienpanel zur benutzerfreundlichen Bedienung der Anlage.	3.000 €

### 3.3.4 Reisen

Für Inlandsreisen wird die Reisekostenpauschale von 3 % der Personalkosten angesetzt. Diese sind für überregionale mehrtägige Reisen (Projektregelmeeting, Arbeitstreffen mit deutschen Partnern und Konferenzteilnahmen in Deutschland) vorgesehen.

Für europäische Auslandsreisen wird der Satz des DLR von 750 € pro Reise genommen. Für die Arbeitstreffen sind jeweils 2 Personen erforderlich, da die Bereiche (Prozess und Mensch-Roboter-Kollaboration) in entscheidenden Punkten ein spezielles Wissen erfordern, das gerade bei realen Versuchen, die Teil der Arbeitstreffen sind, notwendig ist. Eine Teilnahme an einer europäischen Konferenz mit Fachbeitrag im europäischen Raum wird 2023/2024 angestrebt:

Lfd.-Nr.	Jahr	Reiseziel	Reisezweck	Anzahl Personen	Darstellung der Notwendigkeit
1	2022	Frankreich	Kick-Off-Meeting bei Projektpartner	1	Finanziell und ergebnisorientiertes Projekt unter Einhaltung aller Rahmenbedingungen
2	2022	Frankreich	Arbeitstreffen bei Projektpartner	1	Aufarbeitung aktueller Stand an realen Versuchen
3	2023	Frankreich	Projektregelmeeting	1	Finanziell und ergebnisorientiertes Projekt unter Einhaltung aller Rahmenbedingungen
4	2023	Frankreich	Arbeitstreffen bei Projektpartner	2	Versuchsdurchführung vor Ort
5	2023	Portugal	Konferenzteilnahme ICHRCMTA 2023 mit Vortrag	1	Publikation und Ergebnisdissertation international, Steigerung des Bekanntheitsgrad auf internationaler Ebene
6	2024	Frankreich	Arbeitstreffen bei Projektpartner	2	Versuchsdurchführung vor Ort
7	2024	Frankreich	Projektregelmeeting	1	Finanziell und ergebnisorientiertes Projekt unter Einhaltung aller Rahmenbedingungen
8	2024	Portugal	Konferenzteilnahme ICHRCMTA mit Vortrag	1	Publikation und Ergebnisdissertation international, Steigerung des Bekanntheitsgrad auf internationaler Ebene
9	2025	Frankreich	Abschlussmeeting	1	Evaluation der Ergebnisse, Planung weiterer Kooperationen

### 3.3.5 Innerbetriebliche Leistungen

### 3.3.6 Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten

### 3.3.7 Verwaltungskosten

### 3.3.8 Personal

Für die gesamte Projektlaufzeit ist ein wissenschaftlicher Mitarbeiter der Entgeltgruppe 13 mit mehrjähriger Berufserfahrung geplant. Es ist vorgesehen, dass insgesamt 4 Personen aus den Bereichen Produktion und Automatisierungstechnik, Elektrotechnik, Mechatronik, sowie Robotik und künstlichen Intelligenz eingesetzt werden. am Projekt beteiligt sind. Damit ist ein umfassender Kompetenzbereich abgedeckt, um die unterschiedlichen Problemstellungen bearbeiten zu können.

Es ist der Einsatz von 2 Studierenden des MAPR (Master of Applied Research in Engineering Sciences) Studiengangs geplant. Diese arbeiten während des gesamten Studienverlaufs an einem speziellen Thema, das in drei Projektarbeiten gegliedert ist und aufeinander aufbaut. Im Rahmen dieser Projektarbeiten werden MAPR Studierende für das TV eingesetzt.

Zusätzlich werden Studierende mit Bachelor Abschluss entweder im Rahmen einer Masterarbeit (6 Monate) oder studienbegleitend für das TV miteingeplant. Projekte der Studierenden mit BA Abschluss sind für folgende Arbeiten eingeplant:

Mitarbeit Konzepterstellung, Arbeitspakete im Bereich Entwicklung digitaler Zwilling, Programmierung der Kraft-Regelung, Datenaufzeichnung, Erstellen von Testreihen. Entwicklung von Teilalgorithmen, Evaluierung von Testreihen, Aufbau des Demonstrators, Inbetriebnahme des Demonstrators, Dokumentation

Ein wissenschaftlicher Mitarbeiter führt sowohl die organisatorische als auch die wissenschaftliche Projektbearbeitung durch. Des Weiteren koordinieren die wiss. MA die Zusammenarbeit mit den Industriepartnern.

Eine studentische Hilfskraft bzw. ein Bachelorand ist mit einem Einsatz von 40 h/Monat über die gesamte Laufzeit eingeplant, ein weiterer mit 20 h/Monat bis Ende 2023. Diese unterstützen die wissenschaftlichen Mitarbeiter bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der experimentellen Untersuchungen. Die Hilfskraft bereitet z.B. die aufgezeichneten Messdaten auf. Sie unterstützt die wiss. MA zudem bei der Dokumentation und Recherche.

## 4. Verwertungsplan

### 4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten mit Zeithorizont

Der Grundstein für die wirtschaftliche Verwertung für die HM ist durch den Systemdemonstrator gelegt. Da sich der Demonstrator an praxisnahen, anwendungsbezogenen Applikationen orientiert und in Abstimmung mit den assoziierten Partnern definiert und validiert wird, ist eine Unterstützung bei der Umsetzung für alternative Anwendungen im industriellen Umfeld geplant. Ebenso sind als Ergebnis von Präsentationen neue Industrieprojekte zu erwarten, bei denen sowohl andere Montageaufgaben erprobt und in Kombination mit der Industrie weiterentwickelt werden können. Bereits im Vorfeld erstellen assoziierte Partner weitere mögliche Anwendungsbereiche im industriellen Umfeld, so dass ein Transfer der entwickelten Lösung bereits angedacht ist und sich weitere Projekte abzeichnen, um die bestehende Lösung zu transferieren oder für zusätzliche Anforderungen zu erweitern.

Durch die Bereiche kraftgeregelter Prozess und Mensch-Roboter-Kollaboration, die der Systemdemonstrator abdeckt, ist ein noch weiteres Feld der Ergebnisverwertung im wirtschaftlichen Bereich zu sehen.

So ist die Umsetzung einer KI basierten Kraftregelungsstrategie sowohl für Systemintegratoren und Endkunden interessant und auf neue Applikationen anwendbar, als auch für Roboterhersteller, die an der Entwicklung allgemein einsetzbaren Kraftregelungs-Technologien arbeiten. Da in allen Sparten assoziierte Partner Teil des Konsortiums sind, wird von einer Umsetzung adäquater Anwendungen im Anschluss an das Vorhaben ausgegangen. Durch die Präsentation einer Lösung, die kürzere Taktzeiten, geringere Programmierzeiten bei erhöhter Qualität umsetzt, ist von großem Interesse an der Integration der Lösung auszugehen.

Im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration sind Präsentationen sowohl für Anwendungen mit kraftgeregelten Montagetätigkeiten vorgesehen als auch allgemein für Anwendungen im MRK Bereich. So ist auch in diesem Bereich mit Projekten zu rechnen, die eine Integration in weitere Anwendungen zu Folge hat. Zusätzlich ist von Anschlussprojekten auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse aus einer umfangreichen Analyse der Daten im Bereich der Kraft-Leistungs-Begrenzung zu rechnen. Die deutliche Reduzierung der Sicherheitsinbetriebnahme macht im schnell wachsenden Mensch-Roboter-Kollaborations-Bereich einen erheblichen wirtschaftlichen Aspekt aus. Gerade MRK-Projekte werden dadurch unwirtschaftlich und zu wenig flexibel. Dadurch ist mit einem Transfer der Ergebnisse im Rahmen von Industrieprojekten zu rechnen und mit Drittmittelaufträgen durch Integratoren und Anwender.

## 4.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten mit Zeithorizont

Das Teilvorhaben verbindet zwei wesentliche Bereiche der Robotik miteinander, die bei Bedarf auch getrennt voneinander weiterentwickelt werden können. Durch eine Modularisierung, die kontinuierlich erweitert werden kann, wird der Einsatz für weitere Anwendungen erleichtert.

So soll der Demonstrator Grundlage für einen wissenschaftlichen und technischen Informationsaustausch sein. Die Projektergebnisse sollen einem breiten Publikum zur Verfügung gestellt werden, so dass sich daraus neue Projekte sowohl im Forschungs- als auch im Industriebereich ergeben.

In der prozessbezogenen Kraftregelung ist eine Erweiterung in Richtung der überlagerten Regelung denkbar, damit ist eine Ausweitung von Montageaufgaben hin zu Aufgaben im Bereich des Schleifens oder Polierens möglich. Dies erfordert zusätzliche Anforderungen an zu entwickelnde Modelle, die in Forschungsprojekten erarbeitet werden und eröffnet zugleich weitere Industriebereiche. Durch die assoziierten Partner bietet sich hier ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten.

Im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration gibt es unterschiedliche Ansätze für die Gewährleistung der Personensicherheit. Durch die Teilnahme an Konferenzen, sollen neue Kooperationen geschlossen, Netzwerke ausgebaut und Ideen für eine umfassende Lösung gefunden werden. So kann die Kombination aus Kraft-Leistungs-Begrenzung in Verbindung mit kapazitiver und bildgebender Sensorik ein zusätzliches Spektrum an Forschungs- und/oder Industrieprojekten eröffnen. Mensch-Roboter-Kollaboration macht derzeit noch einen extrem geringen Anteil der weltweit verkauften Roboteranlagen aus, wird aber vom IFR (International Federation of Robotics) als stark wachsende Sparte der Robotik betrachtet. Die Erhöhung der Flexibilität und einfache Integration sind wichtige Bestandteile der Weiterentwicklung auf diesem Bereich. Da der Demonstrator an der Hochschule verbleibt, kann die Verwertung der gewonnenen Ergebnisse in Forschung und Lehre im Rahmen von Bachelor- oder Masterarbeiten weiter ausgebaut werden, in dem Studierende Projekte bearbeiten, die auf unserem Vorhaben aufbauen, und einen weiteren Schritt in Richtung einfache Programmierung, adaptive Kraftregelung und Konfiguration von Mensch-Roboter-Anlagen entwickeln.

## 4.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Durch das Konsortium eröffnet sich für die Hochschule eine große Palette an möglichen Applikationen. Zusätzlich bietet die angewandte Ausrichtung der Hochschule durch die Studierenden, die während ihrer Industriepraktika in vielen unterschiedlichen Unternehmen sind, die Möglichkeit unser Projekt über die Partner und deren Verbindungen hinaus bekannt zu machen. Gerade durch die Ausrichtung Robotik – Kraftregelung – MRK – Künstliche Intelligenz schaffen wir die Grundlage für weitere Entwicklungen in Bereichen, die zukünftig immer mehr Teil der Automatisierung und deshalb auch Inhalt der Forschung in diesen Bereichen sein wird. On-the-fly Programmierung im Bereich der Kraftregelung gänzlich ohne Teach-In Programmierung stellt uns noch vor viele ungelöste Fragen, ebenso die sichere Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter ohne langwierige Inbetriebnahme. Hohe Taktzeiten bei gleichzeitiger Zusammenarbeit mit Kollisionserkennung und/oder –vermeidung.

Die Verbindung mit den Konsortialpartnern stellt eine hervorragende Möglichkeit dar, das gemeinsam erlangte Knowhow weiterzuentwickeln. Unterstützt durch die Kombination aus wissenschaftlicher Expertise der Hochschule München und der Kompetenz der Partner sowohl aus der Industrie als auch im Forschungsumfeld können Aufgabenstellungen, wie oben beschrieben, und auch weitere Herausforderungen erarbeitet werden.

Durch die Bearbeitung von Forschungsthemen in den genannten Bereichen wird der Kompetenzbereich der Hochschule erweitert und ihr Ansehen zusätzlich gestärkt. Auch durch den Einsatz internationaler Studierender in Forschungsprojekten mit stark industriellem Hintergrund sind zusätzliche Projekte in Form von Drittmittelaufträgen zu erwarten.

## 4.4 Verwertungstabelle

Nachfolgende Verwertungstabelle fasst die Verwertung mit Aufgaben für den Zeithorizont nach Projektende zusammen:

Lfd.Nr.	Bezeichnung	Zeithorizont
1	Ausdehnung der Projektrelevanz durch Fachvorträge und Netzwerke	fortlaufend
2	Einreichung mögliches Folgeprojekt	04/2025
3	Präsentation Systemdemonstrator außerhalb assoziierter Partner	07/2025
4	Aufträge für Erweiterung des Anwendungsbereichs	09/2025
5	Präsentation Systemdemonstrator mit erweitertem Umfang	06/2026
6	Technologiepaket Kraft-Regelung	01/2027
7	Abschluss Folgeprojekt	01/2028

## 5. Arbeitsteilung / Zusammenarbeit mit Dritten

Die Zusammenarbeit dieses deutsch-französischen Konsortiums bündelt die Expertise der unterschiedlichen Partner und sorgt damit für einen umfassenden Ansatz in unterschiedlicher Ausprägung. Durch die Verbindung von Partnern aus dem wissenschaftlichen und industriellen Bereich unterstützt von assoziierten Partnern ist es möglich einen breiten Entwicklungsvorsprung zu erreichen und gleichzeitig den Wissenstransfer für einen breitgefächerten Einsatz zu nützen.

Für den Demonstrator **Adaptive Kraft-Momenten-Regelung im MRK Bereich** ist eine Zusammenarbeit im wissenschaftlichen Bereich mit der EPF in Paris als Unterauftragnehmer geplant. Die EPF unterstützt durch ihre langjährige Expertise im Bereich der Modellbildung im KI Bereich bei der Entwicklungsarbeit. Für den anwendungsorientierten Ansatz wird die HM von KUKA Roboter GmbH und EvoBus France SASU als assoziierte Partner begleitet. KUKA unterstützt speziell im Hinblick auf die Entwicklung von MRK-Robotern und standardisierter Technologiepakete. Zusätzlich bringen sie ihr KnowHow aus ganz unterschiedlichen Industriebereichen ein. EvoBus erstellt für die eigene Produktion eine Liste mit möglichen Anwendungsfeldern und will im Rahmen des Projektes eine Strategie für die erste Integration einer kraftgeregelten MRK-Anlage entwickeln.

### Erklärung:

Die Verbundpartner sind im Vorfeld zu einer Übereinkunft über die wesentlichen Vertragsinhalte des abzuschließenden Kooperationsvertrages gekommen. Die im Unionsrahmen für staatliche Beihilfen zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation enthaltenen Vorgaben für die Zusammenarbeit von Unternehmen und Forschungseinrichtungen werden eingehalten.

Es besteht eine grundsätzliche Übereinkunft zu den wesentlichen Vertragsinhalten gemäß dem BMBF Merkblatt für Antragsteller/Zuwendungsempfänger zur Zusammenarbeit der Partner von Verbundprojekten.

## 6. Notwendigkeit der Zuwendung

Eine Durchführung des Forschungsvorhabens ohne Zuwendung ist für eine Hochschule nicht umsetzbar. Die benötigten personellen Ressourcen, sowie die erforderlichen Materialien sind aus Hochschulmitteln nicht leistbar. Zusätzlich ist mit der Lösung des Vorhabens ein hoher technischer Anspruch verbunden und damit auch ein erhebliches Risiko. Eine Durchführung der geplanten Entwicklungen erscheint daher für die Projektpartner auf Grund des finanziellen Risikos ohne Zuwendung nicht möglich.



Die beantragte Zuwendung kann die geplanten Entwicklungen beschleunigen und senkt dadurch zusätzlich das verdeutlichte Risiko im Vergleich zu einer Projektdurchführung ohne Beihilfe. Dadurch werden die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten wesentlich erhöht, wodurch die Umsetzung vor allem für die Partner aus der Wirtschaft erst sinnvoll wird. Die Zuwendung stärkt somit die Wirtschaftsregionen, in welcher die Projektpartner tätig sind. Auch wird es ermöglicht, den Projektumfang zu erweitern, mehr Personal im Bereich F&E einzusetzen und generell die Gesamtkosten des Vorhabens zu erhöhen, wodurch die erwarteten Projektergebnisse weitreichender sind.

## Abweichungen zur Skizze

Zur eingereichten Verbundvorhabensskizze haben sich folgende Änderungen ergeben:

1. Im Balkenplan wurden aufgrund verbesserter chronologischer Abfolge die Arbeitspakete 3.3 Datengrundlage (zuvor 3.4) und 3.4 Entwicklung digitale Zwilling getauscht (zuvor 3.3). Die Datengrundlage ermöglicht erst die Erstellung eines virtuellen Abbilds, welches als Testumgebung zur Erprobung zu entwickelnder Algorithmen dient und später zu einem digitalen Zwilling des Prozesses erweitert wird.
2. Aufgrund der Notwendigkeit die Datengrundlage für den Bereich der Kraft-Momenten-Regelung an einem realen Roboter durchzuführen ist es notwendig einen ersten Teil des Arbeitspakets AP 5.1 „Aufbau und Inbetriebnahme der Systemdemonstratoren“ bereits früher anzusiedeln, um die grundlegenden Materialien für die Datengenerierung zu erhalten.
3. Finanzielle Unterschiede

## 7. Literatur

- [1] Y. Li, Q. Lei, C. Cheng, G. Zhang, W. Wang, Z. Xu, "A review: machine learning on robotic grasping," Proc. SPIE 11041, Eleventh International Conference on Machine Vision (ICMV 2018), 110412U (15 March 2019)
- [2] Liu, Jingshu, and Yuan Li. "An Image Based Visual Servo Approach with Deep Learning for Robotic Manipulation." arXiv e-prints, 2019.
- [3] H. Ravichandar, A. S. Polydoros, S Chernova, and A. Billard. "Recent advances in robot learning from demonstration". Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems, 3, 2020.
- [4] B. Ichter, J. Harrison, and M. Pavone, "Learning sampling distributions for robot motion planning," in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom., 2018, pp. 7087–7094
- [5] V. Sze, Y.-H. Chen, J. Emer, A. Suleiman, and Z. Zhang, "Hardware for Machine Learning: Challenges and Opportunities", arXiv e-prints, 2016.
- [6] Y. Wang, H. Li, and X. Li, "Re-architecting the on-chip memory subsystem of machine-learning accelerator for embedded devices" in Proc. 35th Int. Conf. Comput.-Aided Design (ICCAD), New York, NY, USA, 2016, pp. 13:113:6.
- [7] M. Owaida, G. Alonso, L. Fogliarini, A. Hock-Koon, and P.-E. Melet, "Lowering the latency of data processing pipelines through fpga based hardware acceleration," in PVLDB, 2019.
- [9] D. Weichert, P. Link, A. Stoll, S. Rüping, S. Ihlenfeldt. A review of machine learning for the optimization of production processes. In: International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2019).
- [10] A. Stoll, N. Pierschel, K. Wenzel, T. Langer. Process Control in a Press Hardening Production Line with Numerous Process Variables and Quality Criteria. In: Machine Learning for Cyber Physical System (2019).

- [11] L. Penter, P. Link, A. Stoll, A. Albert, S. Ihlenfeldt, Predictive Analysis from numerical and experimental data in press hardening. In: IOP Conference Series Materials Science and Engineering (2019).
- [12] A. Stoll, P. Benner, "Machine Learning for Material Characterization with an Application for Predicting Mechanical Properties", GAMM Mitteilungen, 2021
- [13] H. J. Koriath, M. Hoffmann, T. Langer. Digital engineering Industry 4.0 for machine tools and production equipment. In: Avtomatizacija v promyslennosti (2018).
- [14] T. Langer, M. Richter. Digitalisierung und Produktion in Forschung und Wissenschaft. Energieeffizienz vs. Digitalisierung? In: Fachtagung Energie-Effizienz-Strategie Chemnitz (2018).
- [15] Giovanni De Magistris<sup>1</sup>, Asim Munawar<sup>1</sup>, Tu-Hoa Pham<sup>1</sup>, Tadanobu Inoue<sup>1</sup>, Phongtharin Vinayavekhin<sup>1</sup>, Ryuki Tachibana<sup>1</sup> <sup>1</sup> IBM Research - Tokyo, Japan. Experimental Force-Torque Dataset for Robot Learning of Multi-Shape Insertion: arXiv:1807.06749v2 [cs.RO] 25 Jul 2018
- [16] Przemyslaw A. Lasota Massachusetts Institute of Technology, USA plasota@mit.edu Terrence Fong NASA Ames Research Center, USA terry.fong@nasa.gov Julie A. Shah Massachusetts Institute of Technology, USA julie\_a\_shah@csail.mit.edu A Survey of Methods for Safe Human-Robot Interaction: Foundations and Trends R in Robotics Vol. 5, No. 4 (2014) 261–349
- [17] Devendra P. Garga,<sup>\*</sup> Manish Kumar<sup>b</sup> Optimization techniques applied to multiple manipulators for path planning and torque minimization: Engineering Applications of Artificial Intelligence 15 (2002) 241–252