

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19202 N

Thema

Werkstatorientierte Werkzeugmaschinenautomatisierung durch flexible Roboterunterstützung (FlexARob)

Berichtszeitraum

01.01.2017 bis 30.06.2019

Forschungsvereinigung

Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen (FVP) e.V.

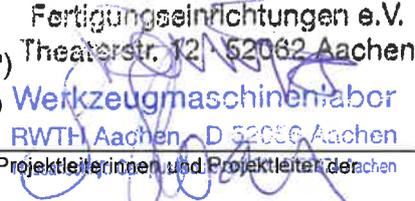
Forschungseinrichtung(en)

1. Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen (FVP) e.V.
2. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Aachen, 13.12.2019

Ort, Datum

Forschungsvereinigung
Programmiersprachen für
Fertigungseinrichtungen e.V.
Theaterstr. 12 | 52062 Aachen
Michael Königs (FVP)
Simon Storms (WZL) **Werkzeugmaschinenlabor**
RWTH Aachen | D 52056 Aachen
Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)



Gefördert durch:

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19202 N

Thema

Werkstatorientierte Werkzeugmaschinenautomatisierung durch flexible Roboterunterstützung (FlexARob)

Berichtszeitraum

01.01.2017 bis 30.06.2019

Forschungsvereinigung

Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen (FVP) e.V.

Forschungseinrichtung(en)

1. Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen (FVP) e.V.
2. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Aachen, 13.12.2019

Michael Königs (FVP)
Simon Storms (WZL)

Ort, Datum

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:

Einleitung und Lösungsansatz

Einleitung

Spanende Bearbeitungsprozesse kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) mit variantenreichem Produktspektrum weisen derzeit keinen oder nur geringen Automatisierungsgrad auf [KLEI15], obwohl dieser direkt zu Produktivitätssteigerung, einer verbesserten Termintreue sowie geringeren Nacharbeits- und Ausschussmengen führt [KINK09; KROE15]. Verkürzte Produktlebenszyklen bzw. geringe Stückzahlen NC-bearbeiteter Teile sowie spezifische Anforderungen (Mitarbeiter-ausfall, mannlose dritte Schicht) erfordern eine häufige Anpassung von Bearbeitungsprozessen und damit ein hohes Maß an Flexibilität der verwendeten Ressourcen – auch während der produktiv genutzten Hauptzeit. Daher erfolgt die Maschinenbeschickung zurzeit weitestgehend manuell durch den Maschinenbediener [SCHE09].

Für die Serienproduktion existieren zwar Ansätze, die die Auslegung und Einrichtung von roboterunterstützten Produktionsprozessen (Handling, Bearbeitung) offline in die Planungsphase vorziehen [BREC14], diese sind jedoch mit einem hohen manuellen Modellierungsaufwand des Maschinenverhaltens verbunden. Daher sind sie für Kleinserien aufgrund der Varianz und der in KMU häufig fehlenden Personalressourcen nicht effizient umsetzbar. Hilfsprozesse wie z. B. roboterbasiertes Handling, Entgrat- oder Prüfschritte werden bislang nur unzureichend in der werkzeugmaschinenzentrierten CAD-CAM-NC-Kette berücksichtigt. Darüber hinaus erlaubt der reine Offline-Ansatz mangels geeigneter Interaktionsschnittstellen keine nachträgliche (Online-) Anpassung von Roboterprogrammen durch den Maschinenbediener und erzeugt somit – insbesondere für KMU – technologische Anwendungshürden.

Nicht zuletzt ist die Anschaffung von Automatisierungslösungen mit einem hohen Investitionsrisiko verbunden, da eine Refinanzierung durch Aufträge mit geringen Stückzahlen meist schwer fällt [FRAN14]. Daher müssen hier zwingend Werkstück-übergreifende Automatisierungslösungen entwickelt werden, die die strategische Abhängigkeit von einzelnen Aufträgen reduzieren.

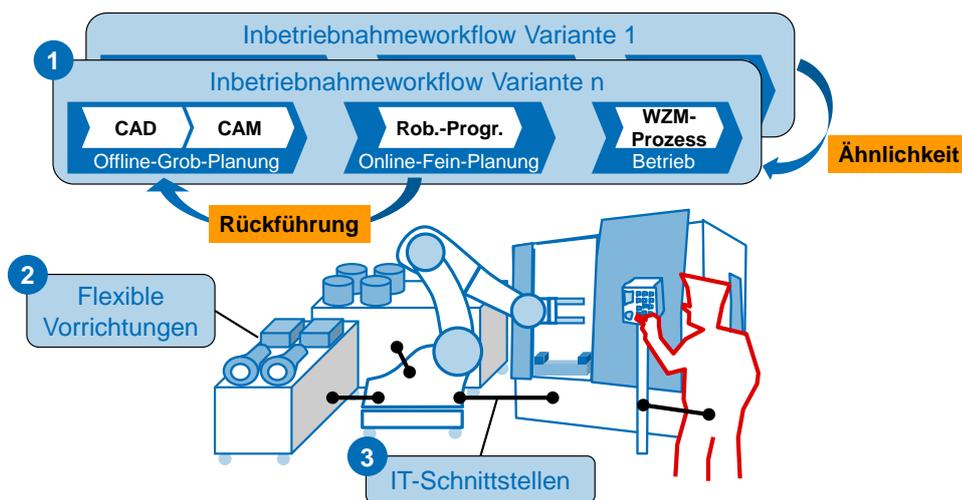


Abbildung 1: Prinzip einer und Anforderung an eine werkstatorientierte Werkzeugmaschinenautomatisierung

Die flexible Werkzeugmaschinenautomatisierung für kleine und mittlere Anwenderunternehmen erfordert eine ganzheitliche Betrachtung von drei identifizierten Themenkomplexen (vgl. Abbildung 1):

1. Prozessplanung und Betriebsmittelprogrammierung

(z. B. NC, RC, SPS, Zellenrechner)

Werkzeugmaschinenbediener (Programmierung der NC und SPS) verfügen zumeist über keine Erfahrung in der Programmierung von Robotersystemen (RC) oder komplexeren Steuerungsverbänden. Darüber hinaus existieren aktuell keine Möglichkeiten, einzelne Programmbausteine nach einer Online-Anpassung zurück in die Phase der Offline-Planung (Simulation) zu übertragen und hier z. B. für ähnliche Varianten wiederzuverwenden. Daher wird ein werkstatorientierter Workflow aus Bedienen und Vormachen von Roboterbewegungen für ein konsistentes Datenmanagement benötigt. Zudem sollte es eine konsistente Art der Programmierung geben, die einen erhöhten Schulungsaufwand bzgl. Der eingesetzten Steuerungssysteme vermeidet.

2. Bauteilübergreifende Vorrichtungen

(zum Greifen, Spannen oder Lagern von Werkstücken)

Vorrichtungen wie z. B. Nullpunktspannsysteme werden heute in der Regel spezifisch ausgewählt bzw. können in Grenzen manuell an die formgebenden Maße des Werkstücks angepasst werden. Hinsichtlich einer flexiblen Automatisierung werden adaptive

Vorrichtungen benötigt, deren Verhalten während der Handhabung und Bearbeitung modelltechnisch abgebildet werden kann, sodass auch eine Prozesssimulation in CAM-Systemen oder in NC-Simulationssystemen möglich wird.

3. IT-Schnittstellen der betroffenen Steuerungssysteme

(Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, Mensch-Maschine-Interaktion)

Die heute insbesondere in KMU verbreiteten Werkzeugmaschinensteuerungen unterstützen die Kommunikationsstandards zur Umsetzung rekonfigurierbarer Steuerungssysteme im Sinne von Plug&Produce in der Regel nicht. Daher ist die Einbindung (bzw. Verbindungstrennung bei Reorganisation) einer externen Automatisierungslösung nicht ohne tiefgreifende Änderungen in der Maschinensteuerung (u.a. auch Hardwarekonfigurationen/Übergabeparameter) möglich. Um auch KMU die Möglichkeit zu eröffnen, die Systemtopologie situationsgerecht anzupassen, ist eine Erweiterung der Schnittstellenfunktionen z. B. mittels eines Gateways notwendig. In diesem Zusammenhang wird eine Kooperation mit den entsprechenden Gremien angestrebt, da u.a. Möglichkeiten zur werkstattgerechten Informationseingabe benötigt werden, die die Kompetenzen des Maschinenbedieners für die Inbetriebnahme berücksichtigen.

In diesen Feldern sowie aus der kombinierten Betrachtung im beschriebenen Anwendungsfall der roboterbasierten Automatisierung ergibt sich jeweils ein aktueller vorwettbewerblicher Forschungsbedarf, der durch das Vorhaben adressiert wird.

Lösungsansatz

Ausgehend von diesem Bedarf soll im Rahmen des Forschungsvorhabens die folgende Hauptforschungsfrage beantwortet werden:

Wie können KMU dazu befähigt werden, Industrieroboter selbstständig zur flexiblen Beschickung von Werkzeugmaschinen mit variantenreichen Werkstücken einzusetzen?

In diesem Zusammenhang wurden im vorgesehenen Lösungsansatz die folgende Teilziele (vgl. Tabelle 1) verfolgt, die innerhalb von 12 Arbeitspaketen bearbeitet wurden.

Tabelle 1: Teilziele und geplante Ergebnisse

Teilziele	Geplante Ergebnisse
Umsetzung des flexiblen Beschickungsprozesses mithilfe von Standard- und Leichtbaurobotik	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikation domänenübergreifender Anforderungen an flexible Automatisierung - Empfehlungen zur Prozessgestaltung der automatisierten roboterunterstützten Beschickung - Technologieauswahl für eine werkstückübergreifende Peripherie (Lagern, Greifen, Spannen) - Konzept einer produktzentrierten höherwertigen Plug&Produce-fähigen Kommunikationsschnittstelle zwischen Werkzeugmaschinen, Roboter und Vorrichtungen
Integration der Roboterprozesse in die Offline-CAD/CAM/NC-Planung ohne Maschinenmodellverfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Demonstratorische Erweiterung eines in KMU verwendeten CAM-Systems - Entwicklung eines werkstatorientierten Inbetriebnahmeworkflows für die integrierte Roboterprogrammierung - Umsetzung eines intuitiven Bedienkonzept für Maschinenbediener zur Online-Anpassung von Roboterbewegungen - Entwicklung und Umsetzung eines Verfahrens zur Wiederverwendung von Roboterteilprogrammen und Programmoptimierung für Werkstückvarianten
IT-Schnittstellen zur modularen Erweiterung des Systems	<ul style="list-style-type: none"> - Integration von Hilfsstationen mithilfe des P'n'P-Ansatzes
Erprobung und Evaluation der automatisierten flexiblen Werkzeugmaschinenbeschickung	<ul style="list-style-type: none"> - Wirtschaftliche und technische Bewertung skalierbarer Umsetzungsszenarien

Inhaltsverzeichnis

Nr.	Titel	Seite
1	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum	7
1.1	Arbeitspaket 1 – Differenzierte Anforderungsanalyse	7
1.2	Arbeitspaket 2 – Gesamtheitlicher Systementwurf	9
1.3	Arbeitspaket 3 – Werkstückschnittstellen und Technologieauswahl	13
1.4	Arbeitspaket 4 – Kommunikationsschnittstellen	16
1.5	Arbeitspaket 5 – Abbildung der roboterintegrierten Abläufe in die CAM-Planung	19
1.6	Arbeitspaket 6 – Entwicklung eines Onlineverfahrens zur Feinplanung	24
1.7	Arbeitspaket 7 – Rückführung und Optimierung online definierter Programmschritte	27
1.8	Arbeitspaket 8 – Systemerweiterung durch Hilfsstationen	32
1.9	Arbeitspaket 9: Rekonfiguration und Adaption des Gesamtsystem	34
1.10	Arbeitspaket 10 – Umsetzung Demonstrationsszenarien	37
1.11	Arbeitspaket 11 – Validierung und Evaluation	39
1.12	Arbeitspaket 12 – Erarbeitung eines Umsetzungskatalogs	43
2	Verwendung der Zuwendungen	45
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten	46
4	Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftliche Nutzens	47
5	Plan zum Ergebnistransfer	49
6	Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts	53
7	Literaturverzeichnis	54
8	Forschungsstellen	55

1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum

Im Folgenden werden die im Zeitraum vom 01.01.2017 bis zum 30.06.2019 durchgeführten Arbeiten zur Erreichung des Projektziels für jedes Arbeitspaket vorgestellt. Dabei erfolgt sowohl eine Gegenüberstellung mit den im Antrag definierten Zielen als auch eine Angabe zum jeweils benötigten Personaleinsatz.

1.1 Arbeitspaket 1: Differenzierte Anforderungsanalyse zur Erfassung domänenspezifischer und -übergreifender Anforderungen an die flexible Automatisierung von WZM (FVP)

Zielsetzung

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Erfassung, Untersuchung und Dokumentation relevanter Anforderungen der beteiligten Wirtschaftszweige an die konzeptionelle Gesamtlösung.

Durchgeführte Arbeiten

In Form eines Workshops am ersten Projekttreffen mit den beteiligten Konsortialpartnern sind unternehmensübergreifende Anforderungen diskutiert und aufgenommen worden. Im weiteren Projektverlauf sind Unternehmensbesuche zu den nicht beteiligten Partnern vorgenommen worden. In einer großen Diskussionsrunde sowie in internen Gesprächen der beiden Forschungspartner sind abschließend alle gesammelten Anforderungen zusammengefasst worden. Ergebnis sind dabei 9 Hauptgruppen, wie Abbildung 2 aufzeigt.

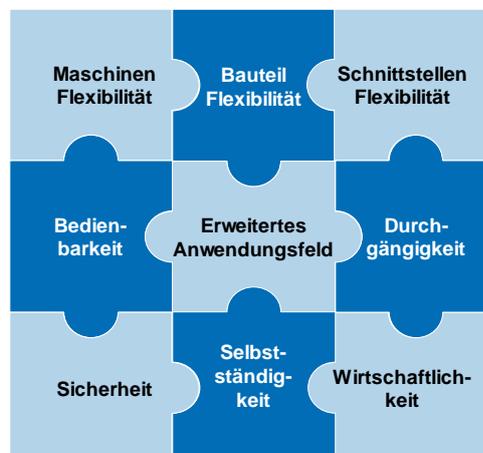


Abbildung 2: Aggregation erfasster Anforderungen

Flexibilität ist in jedem Bereich des Konzepts gefragt. Flexibilität hinsichtlich der Bearbeitungsmaschine und der zu bearbeitenden Werkstücke ist ein wichtiger Faktor, um Werkzeugmaschinen temporär zu automatisieren. Eine Beladaufgabe soll an unterschiedliche Maschinen und Werkstücke angepasst werden können. Darüber hinaus soll die Programmierschnittstelle dem Anwender ermöglichen, die Aufgabe intuitiv zu programmieren. Eine weitere Anforderung ist die Benutzerfreundlichkeit, d. h. die Programmierschnittstelle sollte einen intuitiven und fehlerfreien Prozess unterstützen. Hierdurch werden die Risiken eines fehlerhaften Einsatzes von Roboter und Greifer reduziert und die Programmierlösung dem Anwender leichter zugänglich gemacht. Die Anforderung "Erweitertes Anwendungsfeld" steht in direktem Zusammenhang mit der Maschinen- und Werkstückflexibilität. Das Konzept soll es ermöglichen, neben der Maschinenbeladung auch andere Aufgaben zwischen zwei Arbeitsgängen für eine Vielzahl von Anwendungen durchzuführen. Durchgängigkeit steht hier für eine Konsistenz im Planungsprozess. Die Planungskette und beispielsweise die Datenstruktur sollten konsistent sein, um die Prozessplanung zu vereinfachen. Wenn es um die Automatisierung mittels Robotertechnik geht, ist auch das Thema Sicherheit von entscheidender Bedeutung. Das System muss selbst inhärent sicher sein, d. h. die Programmierung und Bedienung von Programmen ist kollisionsmindernd zu gestalten. Außerdem sollte das gesamte System autonom arbeiten können. Schließlich ist die Steigerung der wirtschaftlichen Effizienz das Hauptziel dieses Ansatzes und damit eine der wichtigsten Anforderungen. Das System soll einen effizienten Betrieb unterstützen und Ressourcen freisetzen.

Erzielte Ergebnisse

Ergebnis ist die Aggregation erfasster technischer Anforderungen des beteiligten Projektkonsortiums.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 2,0 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 1,0 PM

1.2 Arbeitspaket 2: Gesamtheitlicher Systementwurf

Zielsetzung

Ziel dieses Arbeitspaketes ist der Entwurf eines ganzheitlichen Systems zur temporären Automatisierung von Werkzeugmaschinen mittels Robotertechnik.

Durchgeführte Arbeiten

Zur Integration eines flexiblen und mobilen Robotersystems in den bestehenden Fertigungsablauf bedarf es einer durchgängigen Analyse der verwendeten Werkzeugmaschinen (mechanische Schnittstellen, verwendete Steuerungskomponenten und Programmiersysteme). Um eine differenzierte und breite Analyse durchzuführen, sind am WZL mehrere verfügbare Werkzeugmaschinen ausgewählt worden, sodass Besonderheiten einzelner Maschinen nicht verallgemeinert werden. Bei der Auswahl der Werkzeugmaschinen wurde darauf geachtet, dass Maschinen sowohl mit verschiedenen Steuerungen (Mazak Mazatrol, Siemens Sinumerik 840 D sl, Heidenhain iTNC 530) als auch von verschiedenen Herstellern (DMG Mori, Hermle, Mazak) betrachtet werden.

Der erste Analyseaspekt waren die mechanischen Schnittstellen. Hierbei waren die Fragestellungen, gibt es eine Möglichkeit den Roboter an der WZM zu befestigen, gibt es Einschränkungen im Arbeitsraum der WZM, die bei der Positionierung des Roboters, zwingend beachtet werden müssen und welche Komponenten werden aktuell manuell durch den Werker bedient. Abhängig von der Ausstattung der WZM können bereits vom Hersteller Vorbereitungen für die automatisierte Beladung getroffen sein, die die Integration eines Roboters deutlich vereinfachen. Auf Basis der Rückmeldungen des projektbegleitenden Ausschusses sollte sich auf WZM konzentriert werden, welche nicht über eine entsprechende Ausstattung verfügen.

Um eine präzise Beladung gewährleisten zu können, sollte im besten Fall eine mechanisch starre Verbindung zwischen Roboter und Maschine bestehen. Die Anbringung einer solcher Verbindung wäre bei allen betrachteten Maschinen möglich, erfordert aber entsprechende mechanische Veränderungen. Durch eine starre Verbindung verliert der Roboter auf der anderen Seite jedoch an Flexibilität, da im Vorfeld genau analysiert werden muss, wo er platziert werden muss. Hierbei müssen nicht nur der Arbeitsraum der Maschinen, sondern auch die Umgebung und weitere Hilfsstationen (Zuführeinheiten, Ablageplätze, Umspannplätze) berücksichtigt werden. Dies ist im

Vorfeld nur mit simulationsgestützten Methoden möglich und setzt entsprechende Simulationsmodell zwingend voraus.

Beim Beobachten eines Werkers bei der Bearbeitung eines Bauteils wurde deutlich, welche Tätigkeiten neben der Programmierung manuell durchgeführt werden und für einen automatisierten Betrieb durch eine externe Steuerung oder einem Roboter erfolgen muss. Anhängig von der Maschine und den verwendeten Spannmittel wurden diese manuell durch den Werker, durch das Treten eines Fußpedals oder mit Hilfe der verbauten Steuerung geöffnet bzw. geschlossen. In allen betrachteten Fällen wurde die Tür manuell bewegt. Hierbei muss beachtet werden, dass die Tür beim Schließen verriegelt, da ansonsten das Programm nicht gestartet werden kann und dass beim Öffnen die Tür vorher wieder entriegelt werden muss. Die Entriegelung ist entweder manuell über die Steuerung oder durch einen NC-Satz am Ende des Bearbeitungsprogramm möglich.

Im weiteren Verlauf wurden die verbauten Steuerungen in den Maschinen betrachtet. Diese waren aus steuerungstechnischer Sicht auf dem aktuellen Stand, verfügten aber nur vereinzelt über die Möglichkeiten, diese über ein externes System so anzusteuern, dass eine Automatisierung direkt möglich gewesen wäre. Es kristallisierte sich bei näherer Betrachtung drei Möglichkeiten heraus, wie mit der WZM interagiert werden kann. Die erste Möglichkeit wäre, dass der Roboter durch das Drücken entsprechender Tasten an der Steuerung die passenden Aktionen auslöst. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass die analogen und digitalen Ein- und Ausgänge der Steuerung verwendet werden, um Informationen zwischen den Systemen auszutauschen. Die letzte Möglichkeit wäre, dass eine in der Steuerung integrierte Kommunikationsschnittstelle verwendet würde. Beispielsweise ist in der Siemens Simumerik 840d sl bereits ein OPC UA Server enthalten, welcher zu diesem Zweck genutzt werden kann bzw. entsprechend konfiguriert werden kann. Bei OPC UA muss jedoch beachtet werden, dass die hinterlegten semantischen Informationsmodell herstellerabhängig und manuell anpassbar sind. Dies bedeutet, dass es maschinenübergreifend zum jetzigen Zeitpunkt keinen Standard gibt.

Als letzter Aspekt wurden die Arbeitsabläufe sowie die aktuell verwendeten Werkzeuge zur Planung und Realisierung des Fertigungsablaufs betrachtet. Hierfür wurden insbesondere Mitglieder des projektbegleitenden Abschlusses befragt, wie die Abläufe in ihren Unternehmen sind. Jedes beteiligte Anwenderunternehmen verfügt über ein CAM-System, welches sie zur Erstellung von NC-Programme einsetzen können. Die

Entscheidung trifft der jeweilige Meister basierend auf der Komplexität des Bauteils und auch Wunsch des Kunden, ob ein CAM-System verwendet wird oder ob das Programm klassisch an der Maschine erstellt wird.

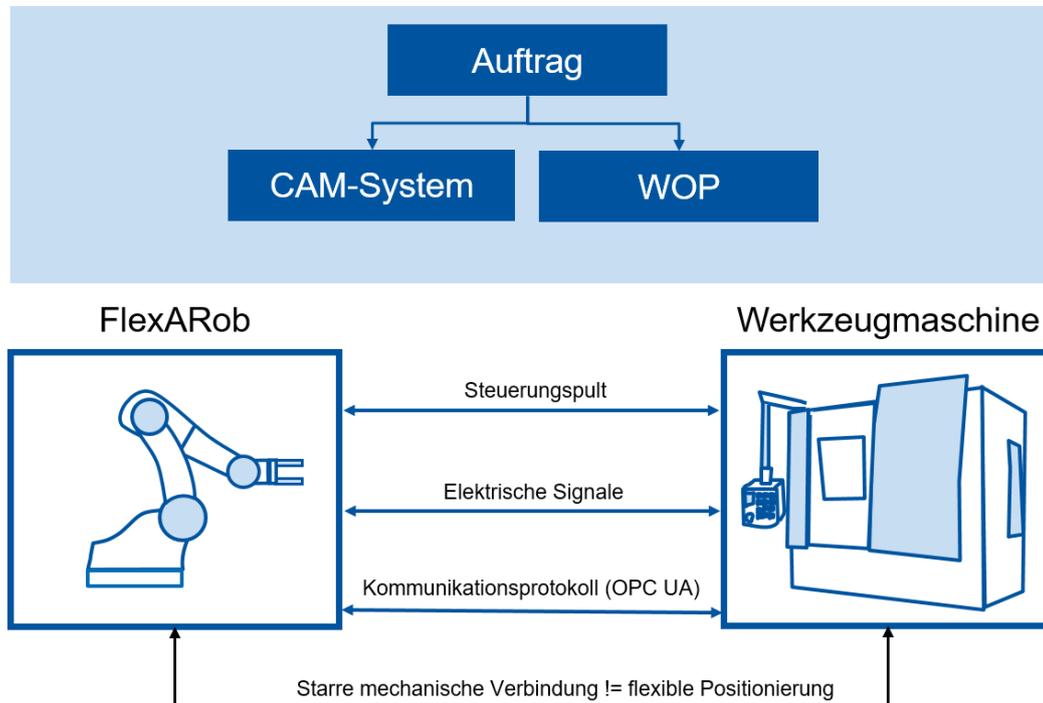


Abbildung 3: Gesamtheitlicher Systementwurf

Auf Basis der in AP 1 erfassten Anforderungen des projektbegleitenden Ausschusses sowie die Ergebnisse der Analyse der verwendeten Werkzeugmaschinen hinsichtlich mechanischer Schnittstellen, verwendeter Steuerungskomponenten und Programmiersysteme wurde ein ganzheitliches System zur temporären Automatisierung von Werkzeugmaschinen mittels Robotertechnik entworfen und in Abbildung 3 dargestellt. Aus der Abbildung wird insbesondere deutlich, dass an das System eine hohe Anforderung bezüglich Flexibilität gestellt wird, da jeder Anwendungsfall anders war und an jeder Maschine individuelle Besonderheiten beachtet werden müssen. Diese gewünschte Flexibilität und die Vielzahl an unterschiedlichen Schnittstellen muss später im weiteren Verlauf bei der Konzeptionierung und Auswahl der Komponenten beachtet werden.

Basierend auf den gewonnenen Anforderungen ist ein CAD-Modell entworfen worden, wie ein entsprechender Demonstrator aussehen könnte. Dieses ist in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 4: CAD-Entwurf des Demonstrators

Um eine möglichst große Flexibilität zu erreichen, wurde der Roboter auf einer mobilen Plattform platziert, die es ermöglicht, zum einen die WZM temporär zu automatisieren als auch zum anderen die Position des Roboters an den Gegebenheiten vor Ort anzupassen, sodass alle Punkte erreicht werden können. Sollte eine starre Verbindung auf Grund besonders hoher Anforderung an Präzision nötig sein, ist dies auch möglich. Unterhalb des Roboters kann neben der Steuerung auch zusätzliche Hilfsmittel platziert werden, wie z. B. eine Ventilinsel, die zur Ansteuerung von Spannmitteln und Greifern verwendet werden kann.

Erzielte Ergebnisse

Zur Einbindung eines Robotersystems ist eine ganzheitliche Systembetrachtung durchgeführt worden und steht für die Bearbeitung der weiteren Arbeitspakete als Grundlage zur Verfügung.

Personaleinsatz:

Forschungsstelle 1 (FVP): 1,0 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 0,5 PM

1.3 Arbeitspaket 3: Werkstückschnittstellen: Technologieauswahl und Umsetzung zum flexiblen Greifen, Spannen, Lagern

Zielsetzung

Ziel ist die Beschreibung von Schnittstellentechnologiekombinationen aus Greifsystem, Spannsystem und Lagerung der Werkstücke.

Durchgeführte Arbeiten

In Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern Heinen Automation und Müller Maschinentchnik sind auf Basis getroffener Anforderungen aus AP 1 Technologien zum Greifen, Spannen und Lagern von Werkstücken untersucht worden. Zur Wahrung eines Kompromisses aus möglichst hoher Flexibilität und realitätsnaher Validierung im weiteren Verlauf des Projektes sind exemplarischer Bauteile definiert worden.

Getriebe-Deckel	Drehflansch	Düseneinsatz
		
<ul style="list-style-type: none">■ Rohteilgewicht: 3 kg■ Fertigteilgewicht: 0,5 kg■ 2-seitige Bearbeitung	<ul style="list-style-type: none">■ Bauteilgewicht: 2 kg■ 2-seitige Bearbeitung	<ul style="list-style-type: none">■ Bauteilgewicht: 0,02 kg■ 1-seitige Bearbeitung

Abbildung 5: Drei exemplarische Bauteile von Partnern

In Abbildung 5 sind diese Bauteile, welche von Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses zur Verfügung gestellt worden, dargestellt. Es handelt sich hierbei sowohl um Frästeile als auch um Drehteile, die in ihrem Gewicht zwischen 0,02 kg und 3 kg schwanken.

Bereits aus den exemplarischen Bauteilen ist ersichtlich, dass hierfür verschiedene Greifer mit bauteilspezifischen Greiferbacken verwendet werden müssen, um die unterschiedlichen Bauteilgeometrien handhaben zu können. Vor diesem Hintergrund wurden ein kompakter Universalgreifer mit einer Greifkraft zwischen 5 und 80 N für kleine

Bauteile und ein servoelektrischer Parallelgreifer mit großem Hub und einer Greifkraft bis zu 600 N für kompakte Bauteile ausgewählt. Durch das eingesetzte Greiferwechselsystem kann zum einen zwischen verschiedenen Greifkinematiken schnell gewechselt werden und zum anderen lassen sich weitere Werkzeuge kurzzeitig an den Roboter befestigen. Als Werkzeuge zählen beispielsweise Adapter, die das Drücken eines Knopfs auf der Steuerung oder das Bewegen der Tür ermöglichen aber auch aktive Komponenten, die durch den vorhandenen Luftdruck am Werkzeug beispielsweise Bauteile von Spänen oder Kühlschmierstoff befreien können. Letztgenanntes erhöht die Wahrscheinlichkeit eines sicheren Griffs und reduziert die Gefahr, das Bauteil durch die Restspäne zerkratzen. In Summe ermöglicht dies eine flexible Anpassung an den jeweiligen Anwendungsfall.



Abbildung 6: Ausgewähltes Greiferwechselsystem und adaptives Spannsystem

In Abbildung 6 ist neben dem ausgewählten Greiferwechselsystem mit dem Universalgreifer auch das adaptive Spannsystem für den Arbeitsraum zu erkennen. Dieses System wurde in Zusammenarbeit mit der Matrix Innovations GmbH für ein flexibles Spannen von Werkstücken unterschiedlicher Geometrien ausgewählt. Durch die mit Federn gespannte Stifte, die wabenartig angeordnet sind, können unterschiedliche Bauteilgeometrien gespannt werden. Der Einsatzbereich beschränkt sich nicht nur auf

den Arbeitsraum der Maschine. Das System kann auch anstatt auf dem Maschinentisch auf die T-Nutenplatte des Demonstrators montiert werden und so für das Umgreifen von Bauteilen verwendet werden. Dies ist beispielsweise bei dem Getriebedeckel nötig, da dieser von zwei Seiten bearbeitet werden muss und hierfür der Roboter einmal umgreifen muss, um das Bauteil richtig zu positionieren.

Um verschiedene Ablagepositionen am Demonstrator evaluieren zu können, ist ein Holzplatte mit entsprechenden Taschen für die Bauteile entstanden (Abbildung 7). Diese Platte passt auf einen beweglichen Werkzeugwagen, sodass verschiedene Greifstrategien und Ablagepositionen rund um den Demonstrator und die WZM getestet werden können.

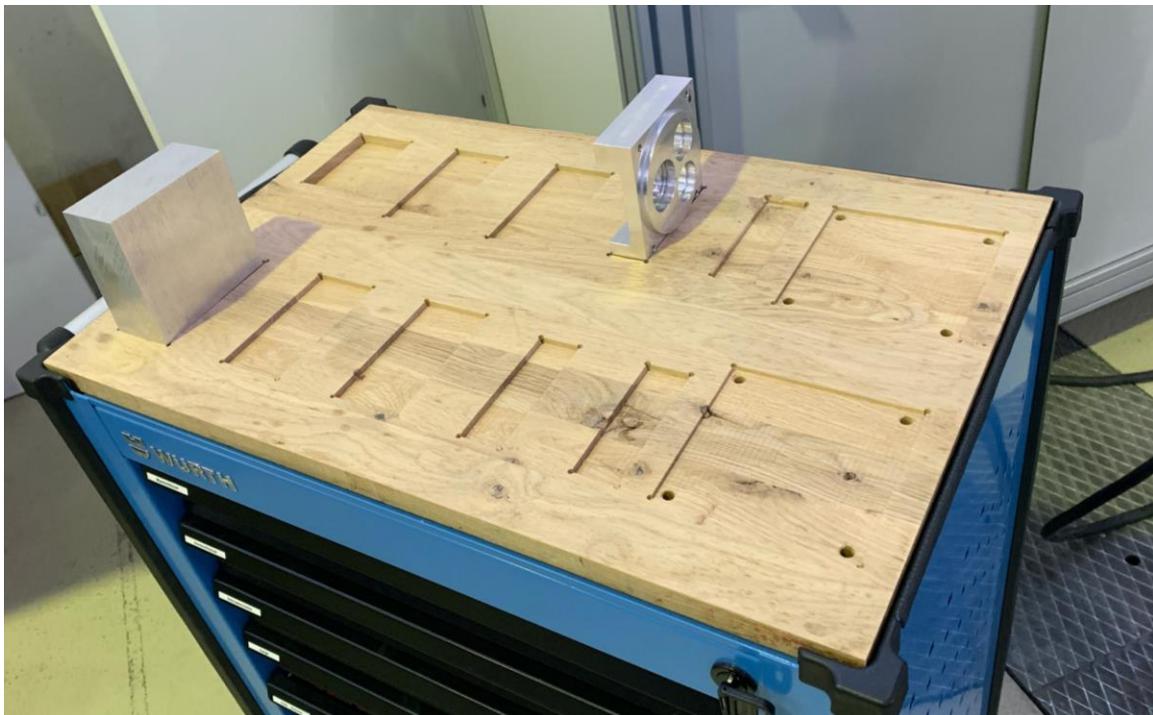


Abbildung 7: Bauteil auf einer Palette

Erzielte Ergebnisse

Flexible Spannvorrichtungen zum Greifen mit dem Roboter, zum Spannen im Maschinenarbeitsraum und zum externen Lagern von Bauteilen liegen vor.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 3 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 3,5 PM

1.4 Arbeitspaket 4: Kommunikationsschnittstellen: Realisierung eines PnP-fähigen Konzeptes für den phasenübergreifenden Informationsaustausch

Zielsetzung

Ziel ist die Entwicklung einer Kommunikationsarchitektur (vgl. Abbildung 8) für den Datenaustausch aller beteiligten Komponenten. Dazu wird ein umfassendes Datenmodell erarbeitet, das die zur Prozessplanung und –umsetzung verwendeten Informationen enthält.

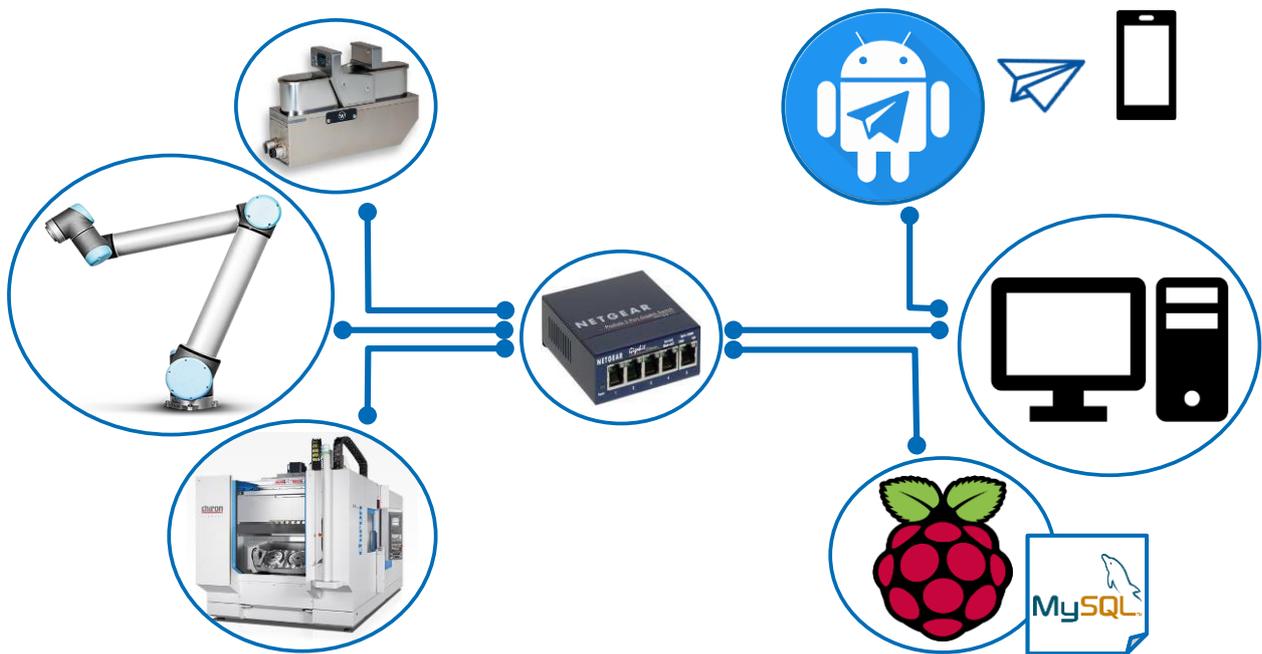


Abbildung 8: Kommunikationsschnittstellen

Durchgeführte Arbeiten

Basierend auf den Ergebnissen aus den vorherigen APs werden die benötigten Daten und Informationen, die zur Inbetriebnahme des Gesamtprozesses benötigt werden, gesammelt und strukturiert. Bei der Strukturierung der Daten wird versucht, Gemeinsamkeiten zwischen den Komponenten zu finden, um eine übergeordnete abstrakte Ebene für diese Komponentengruppe bilden zu können. Hierbei sind die drei Komponentengruppen Greifer, Roboter und Werkzeugmaschine entstanden. In jeder dieser Gruppen werden die spezifischen Eigenschaften und Aktionen, über welche jede untergeordnete Komponente verfügt, zusammengefasst. Das Einführen einer weiteren Ebene erleichtert auf der einen Seite die Anbindung an eine übergeordnete Prozesssteuerung, da die Steuerung nicht alle einzelnen Schnittstellen kennen muss,

sondern nur der entsprechenden Gruppe. Auf der anderen Seite wird die Entwicklung von Treibern für die Komponenten auch vereinfacht, da die übergeordnete Ebene vorgibt, welche Funktionen durch den Treiber zwingend bereitgestellt werden müssen. Ein weiterer Vorteil bei dieser Art der Implementierung ist, dass weitere Komponenten zu einem späteren Zeitpunkt leicht integriert werden können.

Das überlagerte Datenmodell muss es ermöglichen, dass die zur Prozessplanung verwendeten Informationen über eine geeignete Kommunikationsarchitektur allen beteiligten Komponenten vorliegen. Dazu ist, wie in Abbildung X gezeigt, eine entsprechende Architektur umgesetzt worden, die wie oben beschrieben über Treiber die jeweiligen Komponenten mit ihren jeweiligen Kommunikationsprotokollen abstrahiert. Als weiteres zentrale Element in dieser Architektur existiert ein PC, der die Koordinierung zwischen den verschiedenen Komponenten übernimmt und sicherstellt, dass alle Komponenten verfügbar sind und dass der Ablauf entsprechend der Planung ausgeführt wird.

Die entwickelte, generischen Programmierstruktur besteht aus einem Objekt namens Programm, welches eine Liste von Aktionen enthält. Jede Aktion besteht dabei aus den drei Elementen: Subjekt, Verb und Objekt. Subjekt enthält den jeweiligen Aktor, also die Komponenten, die eine Aktion ausführen soll. Das Verb beschreibt, was dieser Aktor tun soll und das Objekt enthält Parameter, die dem Aktor bei der Ausführung der Aktion als Parameter übergeben werden. Durch diese Darstellung lassen sich beliebige Abläufe generisch abbilden und können auch in Zukunft leicht erweitert werden.

Zur Persistierung der Abläufe können verschiedene relationale Datenbankmanagementsysteme wie MySQL, Postgres oder Oracle verwendet werden. In unserem Fall wird eine MariaDB, ein Fork von MySQL, verwendet. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt der entwickelten Datenbankstruktur, die auf der beschriebenen Programmierstruktur aufbaut. Die Datenbank ist in verschiedene Tabellen unterteilt: "Programme" speichert die verschiedenen Programme, die einen Namen und eine Folge von Aktionen enthalten. Jede Aktion in einer Sequenz kann in der Actions-Tabelle angesprochen werden, wo Informationen wie die Art der Aktion und Argumente wie Positionen gespeichert werden. Diese Informationen sind in den jeweiligen Tabellen gespeichert und können abgerufen werden.

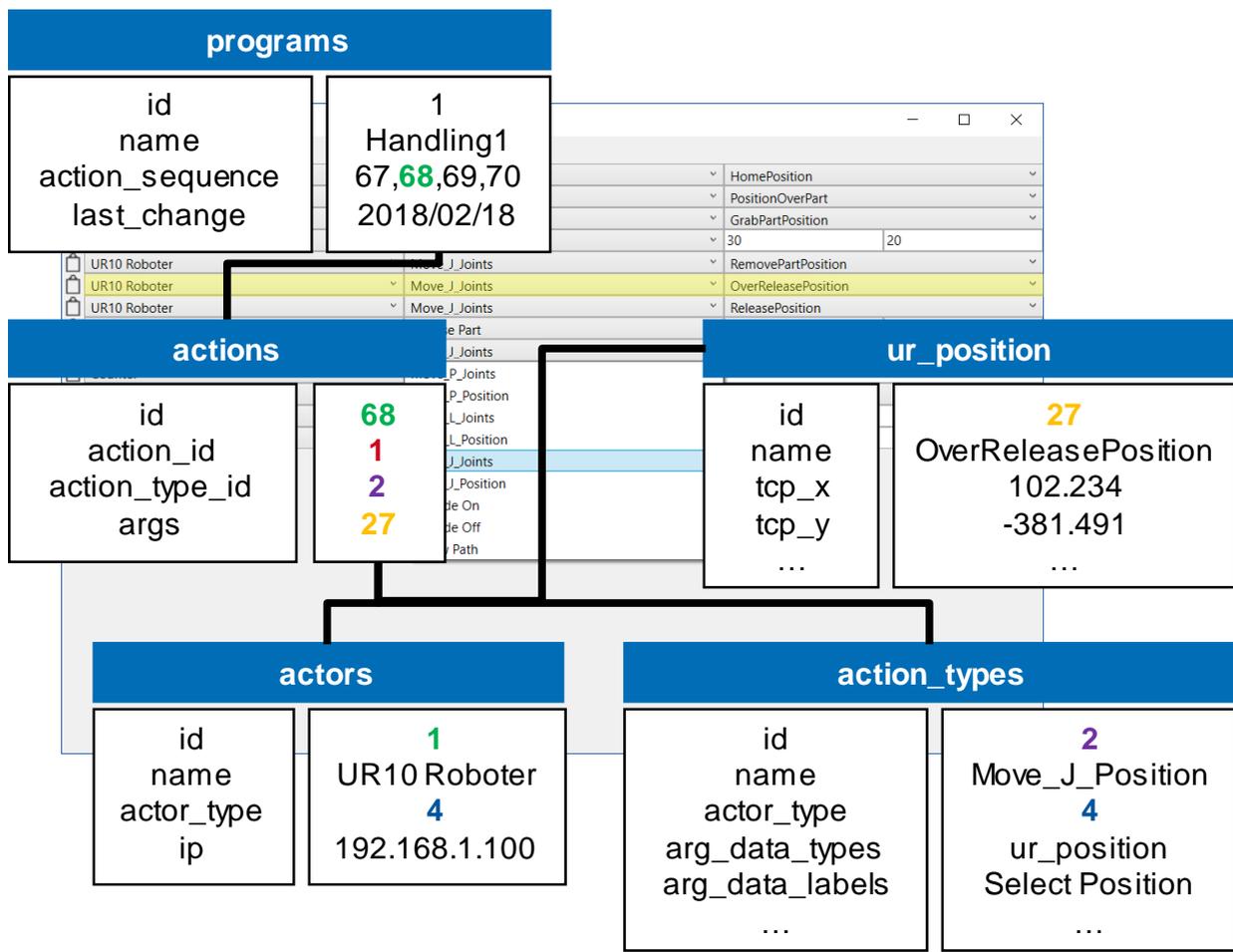


Abbildung 9: Datenbank zur Programmierung einzelner Anlagenkomponenten

Das Konzept ermöglicht es dem Anwender einen Prozess durch einfaches Hinzufügen neuer Aktionen zu programmieren. Dies kann in einem Programmierfenster, siehe dazu AP 6, durch Auswahl eines Akteurs, des gewünschten Aktionstyps und der entsprechenden Argumente erfolgen.

Erzielte Ergebnisse

Es liegt ein phasenübergreifendes Datenmodell sowie Schnittstellendefinitionen zur steuerungstechnischen Umsetzung von Plug&Produce, sodass ein integrierter Inbetriebnahmeworkflow möglich ist.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 3,1 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 3 PM

1.5 Arbeitspaket 5: Abbildung der roboterintegrierten Abläufe in die CAM-Planung (FVP)

Zielsetzung

Zur automatisierten Maschinenbeschickung ist die steuerungsübergreifende Abarbeitung eines gemeinsamen Prozessablaufs bestehend aus mehreren Werkstückspezifischen Handhabungs- und Fertigungsschritten notwendig. Der vorgeschlagene Ansatz sieht vor, dass die Grobplanung des Ablaufs innerhalb des verwendeten CAM-Systems erfolgt.

Durchgeführte Arbeiten

Für den Aufbau einer Mitarbeiterunterstützung findet in der Arbeitsvorbereitung zunächst die Erstellung einer geeigneten Informationsgrundlage statt. Diese Grundlage dient dann der Ableitung von Workflows und Handlungsempfehlungen für das maschinennahe Teaching des Roboters. Ausgehend von einem gegebenen CAD-Bauteil werden zunächst Oberflächenbereiche definiert, die bei der Planung von Handling-Operationen nicht verwendet werden dürfen. Dabei handelt es sich üblicherweise um qualitätsrelevante Bauteilregionen, die zwar über eine mitgelieferte, tolerierte Bauteilzeichnung (z. B. nach ISO 1101) angegeben werden, jedoch nicht durch die CAD-Geometrie digital beschrieben sind. Durch die Selektion betroffener Oberflächenbereiche im CAM-System sowie die Zuweisung entsprechender Flächeneigenschaftswerte werden dem CAD-Modell diese fehlenden Informationen nachträglich hinzugefügt. Ein Beispiel hierzu ist in Abbildung 10 gegeben.

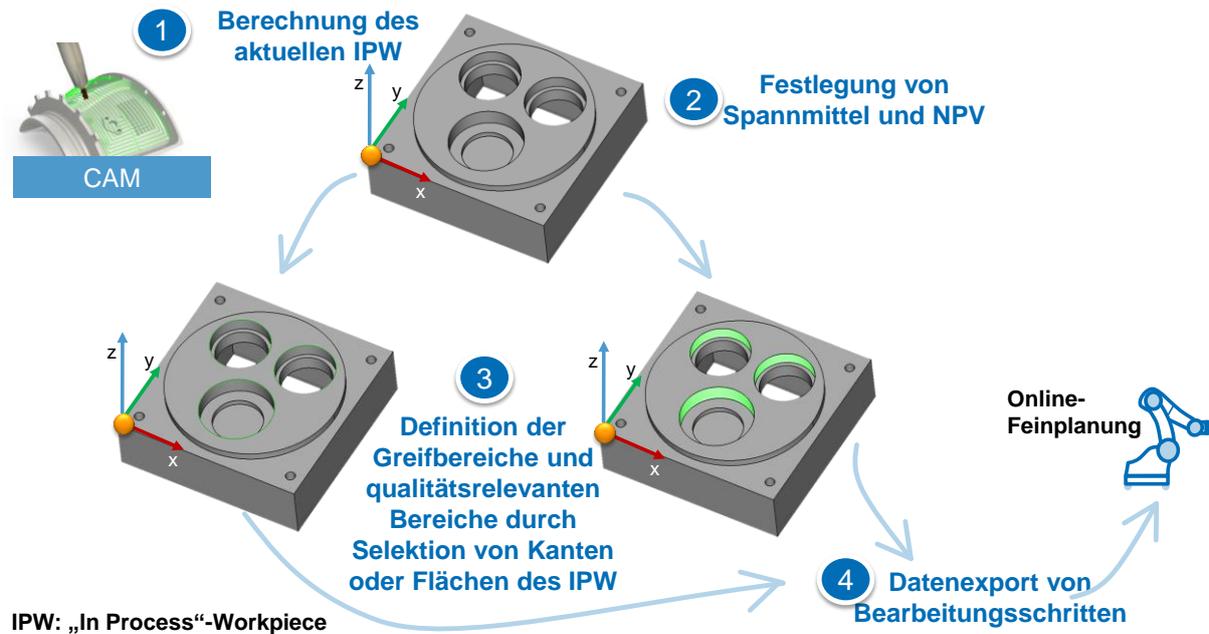


Abbildung 10: Festlegung von qualitätsrelevanten Flächenbereichen während der CAM-Bearbeitungsplanung

Gleichzeitig ist bei diesem Vorgehen auch die Kennzeichnung von Flächenbereichen möglich, die bei der Planung von Greifoperationen ausdrücklich verwendet werden können.

Auf Grundlage dieses angereicherten Modells erfolgt anschließend die Definition der spannenden Bearbeitungsoperationen. Hierbei erfolgt neben der Planung der Werkzeugverfahrbewegungen die Festlegung von unterschiedlichen Nullpunkten und Spannlagern, die für die spätere Herstellung der realen Spannsituation benötigt werden. Diese Informationen sind für die Ableitung von Umspannoperationen, welche durch den Roboter ausgeführt werden sollen, gleichermaßen relevant und werden daher in die Datengrundlage mitaufgenommen. Darüber hinaus erfolgt die Aufnahme von virtuellen Zwischenergebnissen in die Datenbasis, welche durch die Materialabtragsberechnung innerhalb des CAM-Systems für jede Operation erzeugt werden können. Diese „In-Process-Workpieces“ (IPW) bilden dabei die aktuelle Geometrie des Werkstücks nach Abschluss einer Bearbeitungsoperation ab und sind somit für die Planung von Greifoperationen auch für nicht final bearbeitete Werkstücke notwendig. Ein Beispiel hierzu wird in Abbildung 11 gegeben.

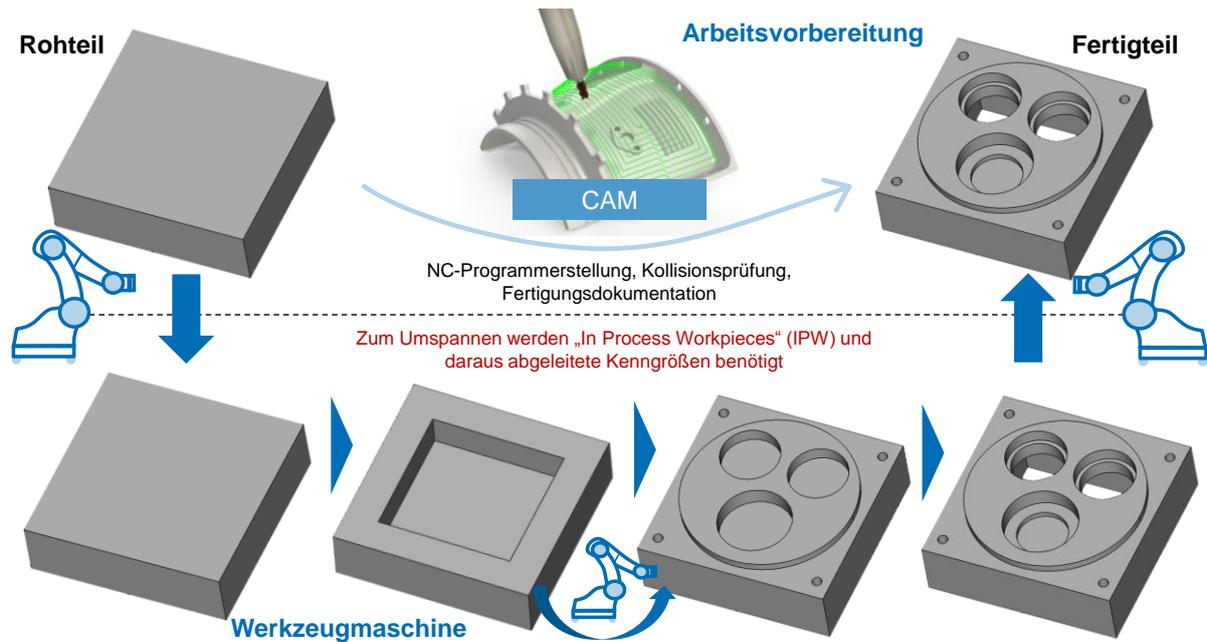


Abbildung 11: Nutzung von „In Process“-Workpieces zur Planung von Umreifoperationen zwischen Bearbeitungsschritten

Auf Basis der erstellten Datengrundlage erfolgt nach abgeschlossener CAM-Bearbeitungsplanung der Aufbau von Workflows für die Roboterautomatisierung. Durch den Vergleich von Spannlagern (WCS – Workpiece Coordinate System) aufeinanderfolgender Bearbeitungsoperationen wird dabei zunächst die Notwendigkeit für eine Umspannoperation abgeleitet. Ist eine entsprechende Operation notwendig, erfolgt automatisch die Definition eines zusätzlichen Arbeitsschritts im Workflow, für den eine maschinennahe Umsetzung durch den Roboter zu realisieren ist. Hierbei definieren die Spannlagere und das IPW der letzten ausgeführten Bearbeitungsoperation den Ausgangszustand der Handling-Operation. Ergänzend wird hierbei die Kinematik der bearbeitenden Werkzeugmaschine miteinbezogen, um ggf. die räumliche Lage des Werkstücks im Arbeitsraum der Maschine zu berücksichtigen. Der Zielzustand ist durch die Spannlagere der nächsten durchzuführenden Bearbeitungsoperation definiert. In Abbildung 12 wird hierzu ein Anwendungsbeispiel aufgezeigt.

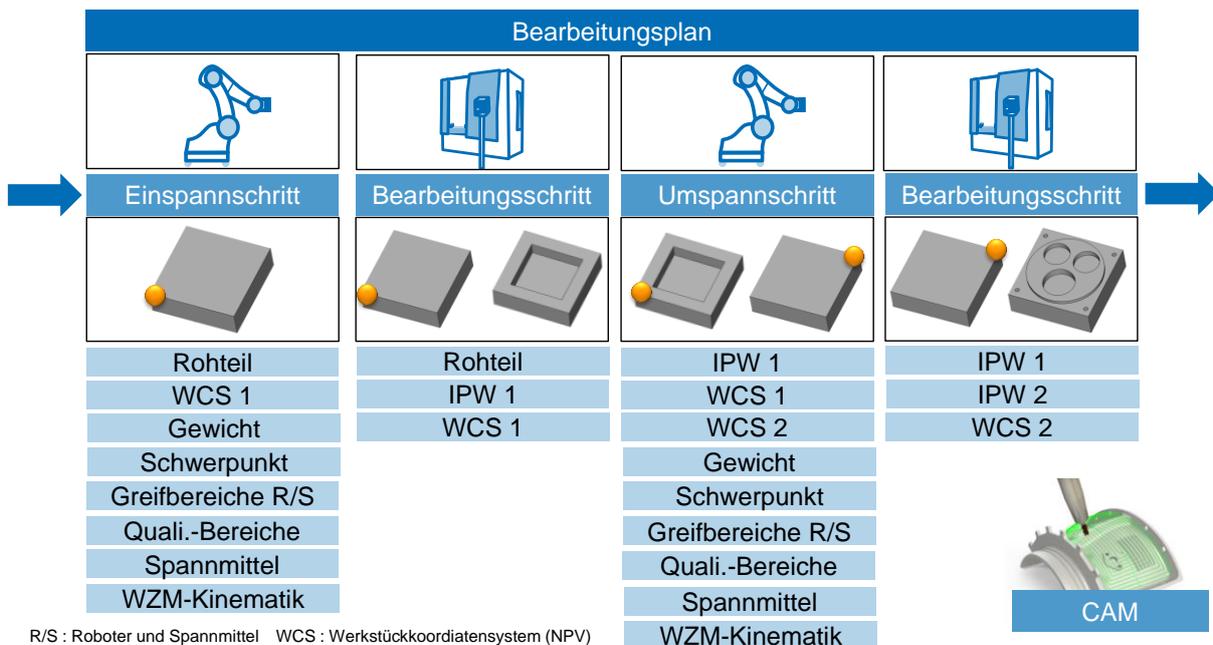


Abbildung 12: Grobaufbau des Datenmodells und beispielhafte Ergänzung eines Umspannschrittes

Mittels einer CAM-Erweiterung lassen sich die Umgreif-Schritte bereits im Offline-System vorgeben (vgl. Abbildung 13). Durch Selektion entsprechender Oberflächenbereiche werden dabei die Positionen der Greifbacken vorgegeben, sowie durch Vorgabe einer Anfahrrichtung entsprechende, roboterspezifische Werkzeugpfade generiert und an die Roboterzelle zur Online-Feinplanung weitergeleitet.

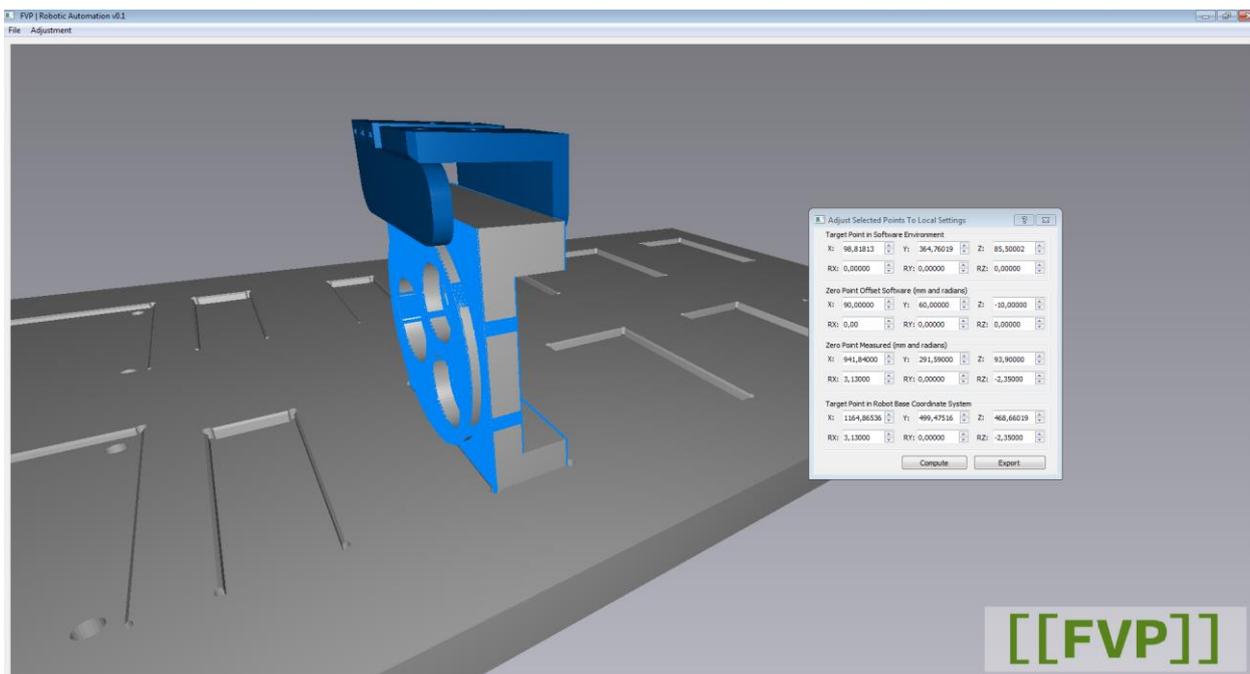


Abbildung 13: CAM-Erweiterung zur Planung von Greifprozessen

Erzielte Ergebnisse

Es existiert ein Konzept zur Definition und Aufzeichnung relevanter Informationen zur Workflow-Erstellung im Rahmen der CAM-Bearbeitungsplanung. Analyseverfahren auf Basis dieser Informationsgrundlage erlauben die Erstellung und Grobplanung von Workflows, die anschließend anteilig im Rahmen der Arbeitsvorbereitung sowie vollständig in Werkstattebene realisiert werden können.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 6 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 3 PM

1.6 Arbeitspaket 6: Entwicklung eines Onlineverfahrens zur Feinplanung bauteil-spezifischer Roboteroperationen für Maschinenbediener („Last Mile“)

Zielsetzung

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die konzeptionelle Entwicklung einer intuitiven Programmierschnittstelle für Maschineninbetriebnehmer von KMU, die bisher keinen Kontakt zu Robotersystemen hatten. Auf Basis aktueller Interaktionsmöglichkeiten mit Leichtbaurobotern wird ein softwareseitiger Ansatz entwickelt, der die Programmierung des Gesamtablaufs vorgibt.

Durchgeführte Arbeiten

Die Prozessprogrammierung erfolgt mit einem Softwaremodul, das in Visual Studio als Windows-Anwendung implementiert ist. Die Anwendung generiert die Schnittstelle zwischen den beteiligten Komponenten, wobei die Plattformarchitektur als treiberbasierte Struktur konzipiert ist. Jeder Akteur, wie Roboter, Greifer oder Werkzeugmaschine kann mit einem Treiber integriert werden. Der jeweilige Treiber ermöglicht bestimmte Aktionen, die in der Datenbank gespeichert sind. Die konzeptionelle Softwarelösung bietet und ermöglicht es dem Anwender, alle am Kommunikationsnetzwerk beteiligten Geräte über ein Benutzerfenster anzusprechen.

Abbildung 14 zeigt als Beispiel die Steuerung des Robotersystems. Diese Schnittstelle ermöglicht es dem Anwender einerseits, in Echtzeit Informationen über das System zu erhalten, wie z. B. die aktuelle TCP-Position. Andererseits ist die Manipulation der Roboterkinematik entweder über die Eingabe von Parametern oder bei Universal Robots über den Modus "Freeride" und die manuelle Manipulation möglich. Definierte Positionen können in Kombination mit Parametern wie Geschwindigkeit und Beschleunigung gespeichert werden. Anschließend können Positionen nach Wahl der Bewegungsart (Linear-, Kreis- oder Punkt-zu-Punkt-Bewegung) angefahren und erneut validiert werden.

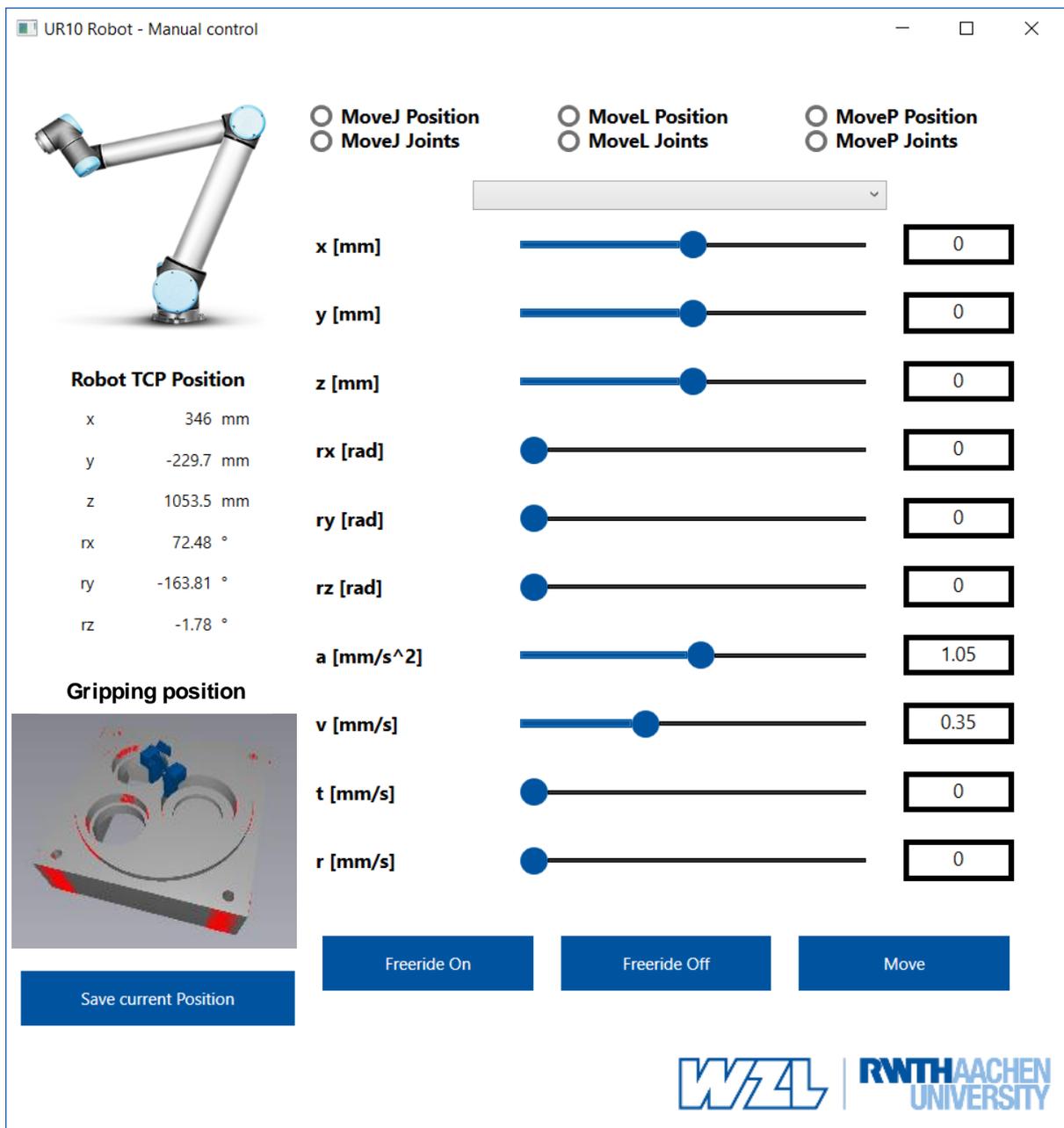


Abbildung 14: Treiber-basiertes Controller-Fenster zur Programmierung eines Universal Roboters UR10

Um elementare Grundfunktionen über die gleiche Applikation ansprechen zu können, existieren diese Steuerfenster auch für die Greifeinheit (Greifer öffnen/schließen) und für die entsprechende Werkzeugmaschine (Tür öffnen/schließen, Spannelement öffnen/schließen). Zusätzlich zu den einzelnen Steuerungsfenstern gibt es ein separates Programmierfenster, wie in Abbildung 15 dargestellt. Jede Zeile repräsentiert eine Aktion eines bestimmten Akteurs und die Reihenfolge der Aktionen wird von oben nach unten abgearbeitet. Der Benutzer fügt eine Aktion hinzu, indem er eine Zeile hinzufügt und in der

ersten Spalte einen Akteur auswählt. Danach wird in der zweiten Spalte der Aktionstyp (z. B. linear verschieben) ausgewählt und wenn ein Argument wie Geschwindigkeit oder eine Position benötigt wird, kann der Benutzer dieses in der dritten Spalte hinzufügen. Auf die in der Datenbank gespeicherten Positionen kann sofort aus dem Programmierfenster zugegriffen werden. Funktionen wie ein Counter oder ein Sleeper können ebenfalls hinzugefügt werden und helfen dem Benutzer, das Gesamtprogramm zu vereinfachen und anzupassen.

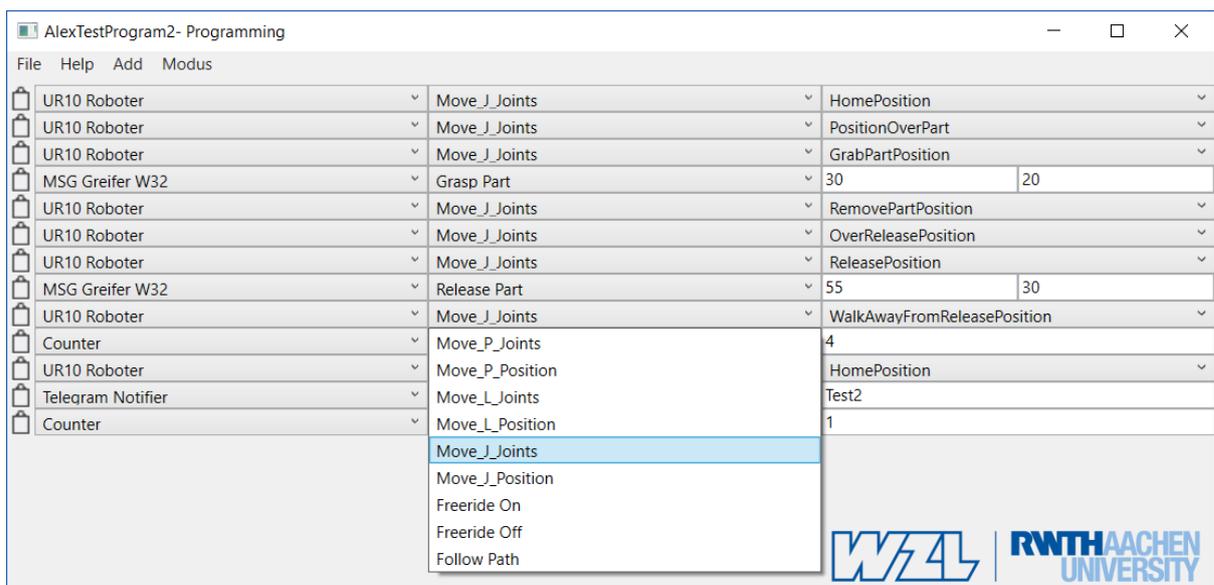


Abbildung 15: Programmierumgebung

Erzielte Ergebnisse

Es wurde erfolgreich ein Assistent zur werkstatorientierten Online-Programmierung roboterbasierter Handhabungsschritte entwickelt.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 1 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 7 PM

1.7 AP7: Rückführung und Optimierung online definierter Programmschritte (FVP)

Zielsetzung

Zur Unterstützung der Online-Vervollständigung des Ablaufs bzw. einer Übertragung auf neue Prozesse sollen Möglichkeiten zur Rückführung der online adaptierten Programme in die CAM-Planung entstehen. Auf diese Weise kann ein konsistentes Offline-Planungsmodell sichergestellt werden.

Vorgehen

Für die Feinplanung bauteilspezifischer Roboteroperationen wurde in Absprache mit dem PA weiterhin eine mobile Benutzerschnittstelle entworfen, die sich maschinenah einsetzen lässt. Zur Unterstützung des Teaching-Prozesses werden dem Mitarbeiter in der Fertigung beide Spannlagen auf visualisiert. Grundlage hierfür stellt eine erweiterte Auswertung der vorhandenen IPWs dar, die im Folgenden näher erläutert wird.

Den Ausgangspunkt stellt eine Überführung der gegebenen IPWs in eine volumetrische Beschreibung dar, die im Forschungsvorhaben mittels eines Dixel-Modells umgesetzt werden kann (vgl. Abbildung 16).

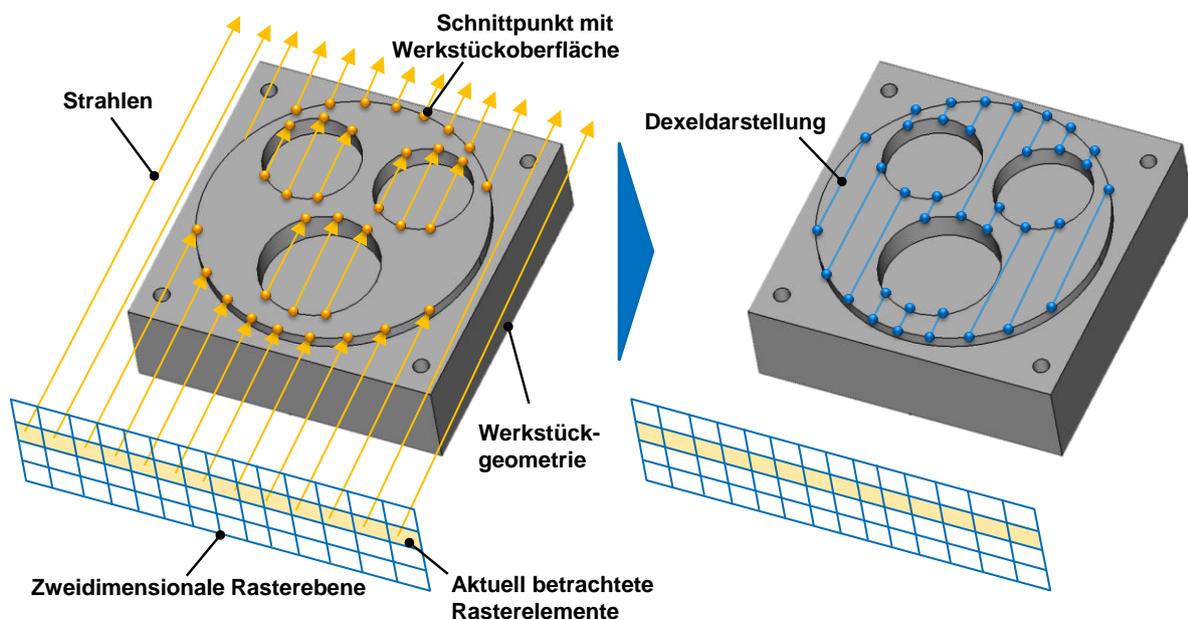


Abbildung 16: Aufbau eines Dixel-Modells

Entlang einer gegebenen, zweidimensionalen Rasterebene werden parallele Strahlen durch die Bauteilgeometrie des IPWs geschossen. Für jeden Strahl eines Rasterelements werden dabei die Schnittpunkte gesammelt und nach Entfernung zur Rasterebene sortiert. Jeweils zwei aufeinanderfolgende Schnittpunkte, die Strahleintritt und Strahlaustritt in Bezug auf das Werkstückvolumen kennzeichnen, ergeben daraufhin einen Dixel. Die Summe der Dixel ergibt anschließend eine volumetrische Beschreibung des Bauteilvolumens bezogen auf das aktuell betrachtete Rasterelement. Das Vorgehen wird dabei für insgesamt drei Rasterebenen durchgeführt, die orthogonal zu den jeweils drei Raumhauptrichtungen verlaufen. Durch Überlagerung der Teilmodelle entsteht so eine Beschreibung für das gesamte Bauteil, die in jeder Raumrichtung eine kontinuierliche Beschreibung des Volumens ermöglicht.

Mittels des Dixel-Modells lassen sich im Anschluss Bereiche identifizieren, die insbesondere als Greifbereiche eignen. Die Grundidee besteht dabei in der Entfernung von Dixeln, die gewisse geometrische Randbedingungen, die für ein Greifen benötigt werden, verletzen. Aus der verbleibenden Anzahl an Dixeln lassen sich anschließend gültige Greifpositionen berechnen.

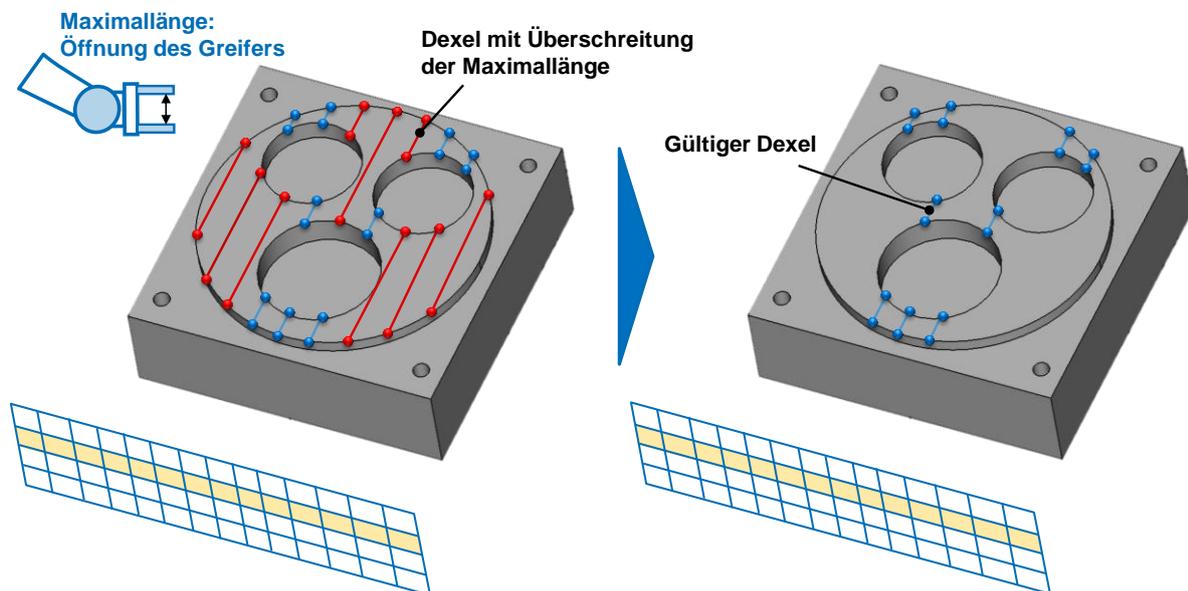


Abbildung 17: Filterung von Dixel mittels maximaler Greiferöffnung

In einem ersten Schritt wird zur Filterung die Maximallänge der Öffnung des Greifers herangezogen. Dixel länger als die vorgegebene Maximallänge beschreiben Bauteilbereiche, die für ein Greifen mit aktuellen Greifer ungeeignet sind und werden daher aus der Liste der Kandidaten entfernt (vgl. Abbildung 17).

In einem nächsten Schritt werden die Endpunkte der verbleibenden Dixel qualitätsrelevanten Bauteilbereichen gegenübergestellt (vgl. Abbildung 18). Entfällt ein Dixel-Endpunkt dabei auf einen qualitätsrelevanten Bereich, so besteht die Gefahr, dass Vorgaben (Rauheit, Maßhaltigkeit) durch ein Greifen in diesen Bereichen verletzt werden. Die Menge der entsprechenden Dixel wird ebenfalls aus der Kandidatenliste entfernt.

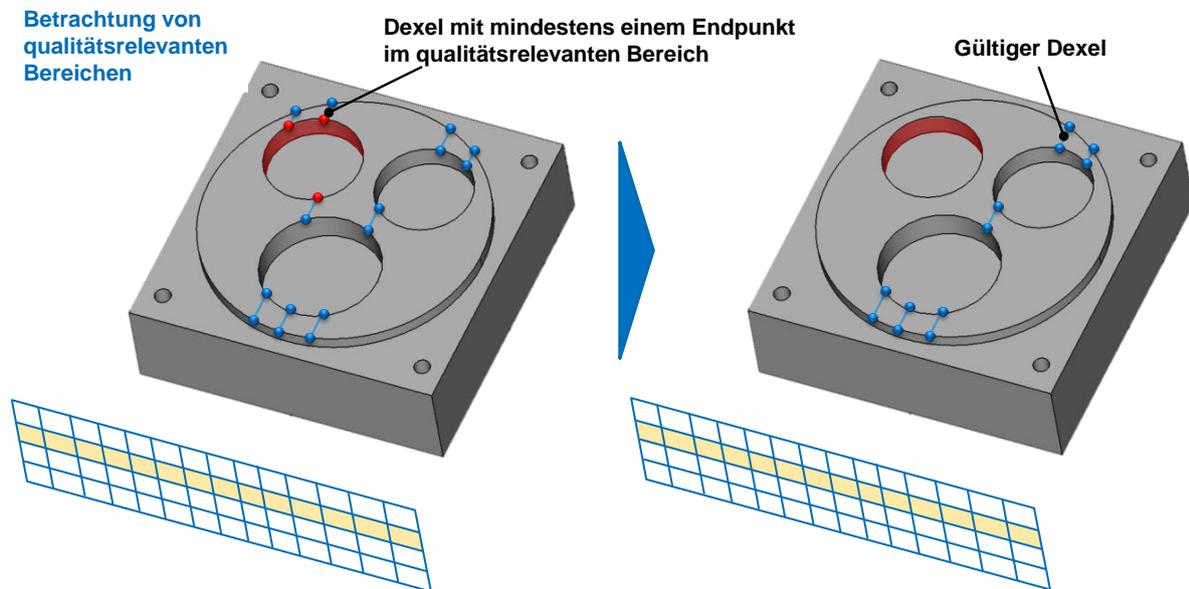


Abbildung 18: Filterung von Dixel mittels qualitätsrelevanter Bereiche

In einem abschließenden Schritt werden die Normalen an den Endpunkten der verbleibenden Dixel betrachtet. Für ein geeignetes Greifen müssen Normalen eine geringe Winkeldifferenz aufweisen. Mittels eines greiferspezifischen Grenzwertes werden Dixel, die diesen Wert überschreiten, ebenfalls aus der Kandidatenliste entfernt (vgl. Abbildung 19).

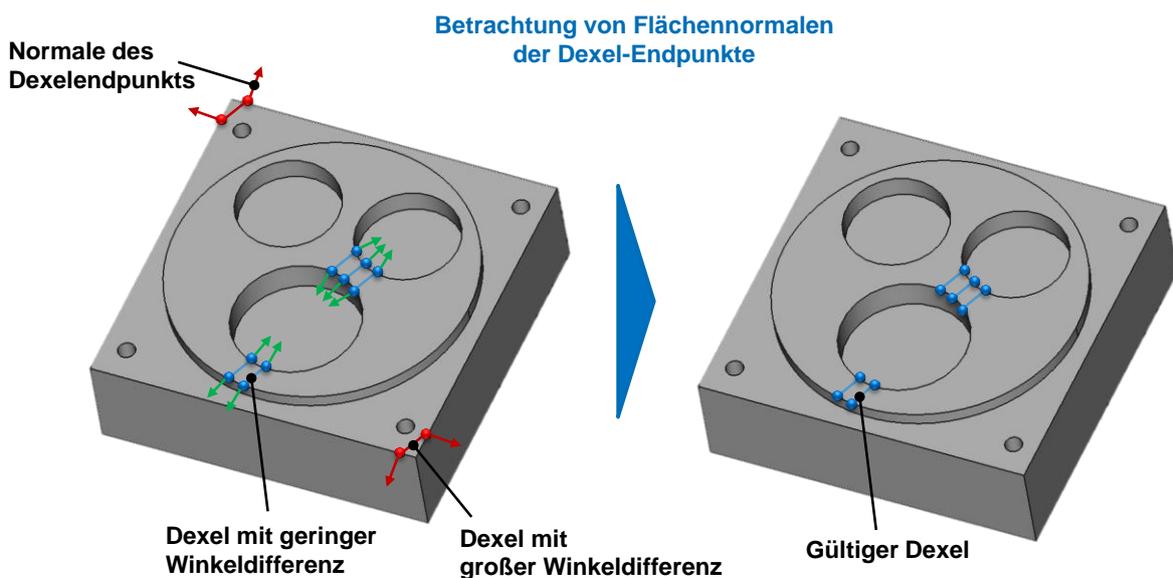


Abbildung 19: Filterung von Dixel mittels Flächennormalen

Aus der finalen Liste an Kandidaten lassen sich im Anschluss Greifpositionen ableiten. Hierbei werden aus den Endpunkten jedes Dexels, sowie dort vorliegenden Flächennormalen Position und Orientierung für beide Greiferbacken abgeleitet.

Innerhalb der entworfenen Benutzerschnittstelle werden IPW mit zusätzlichen erzeugten Informationen versehen, die dem Mitarbeiter als Handlungsempfehlungen bereitgestellt werden. Günstige Bauteilbereiche, welche sich für das Festhalten durch den Greifer eignen, werden bei der Darstellung farblich hervorgehoben. Der Mitarbeiter kann auf Basis dieser Empfehlungen dann für jede Operation eines vorgegeben Workflows geeigneten Greifpunkt auswählen. Bei Anwahl des entsprechenden Bereichs auf dem virtuellen Werkstück wird darüber hinaus die Positionierung des Greifers graphisch dargestellt. In Abbildung 20 ist die zugehörige Benutzerschnittstelle exemplarisch dargestellt.

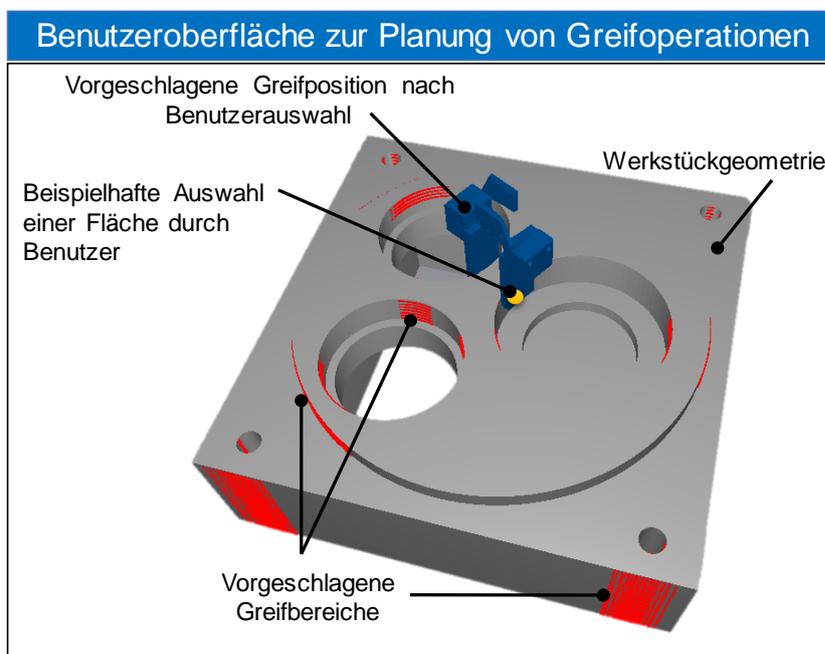


Abbildung 20: Benutzeroberfläche zur Definition von Greifoperationen

Nach einer Bauteil-Engstellenerkennung mit benutzerdefiniertem Schwellenwert (z. B. Maximalöffnung des Greifers) werden günstige Bauteilbereiche, die sich für das Greifen mit dem Roboter eignen, rot hervorgehoben. Eine Benutzerselektion einer Seite dieser Engstellen führt zu einer Darstellung der für diesen Bereich geeigneten Positionierung des Greifers. Der Mitarbeiter kann so den Roboter entsprechend der Handlungsempfehlungen effizient anlernen (Feinplanung), ohne dabei relevante Qualitätsmerkmale zu beschädigen.

Ausgewählte Greifbereiche lassen sich weiterhin in die vorgelagerte CAM-Planung zurückführen, um in zukünftigen Planungen berücksichtigt werden zu können.

Um eine Wiederverwendung einer abgeschlossenen Planung zu ermöglichen, wurde in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss weiterhin eine Nullpunktantastung für Werkstückablage und Werkzeugmaschine mittels Robotergreifer entwickelt. Im Ablagebereich der Werkstücke, sowie an Werkzeugmaschine wurden hierzu Elemente mit Aussparungen befestigt, in die der Greifer – montiert am Roboterarm – in einer kontrollierten Orientierung eingeführt werden kann. Durch die anschließende Erfassung von Position und Lage des Greifers mittels Robotersteuerung ergeben sich anschließend Koordinatensysteme (eines, welches bei der Programmierung verwendet wurde, und eines, welches für die aktuelle Situation gültig ist). Aus diesen lässt sich eine Transformation ableiten, durch welche bereits erzeugte Pfade bzw. anzufahrende Positionen zur Wiederverwendung an die neue (ähnliche) Situation angepasst werden können.

Erzielte Ergebnisse

Online erzeugte Roboterbahnen sind in die maschinennah planbar und in die CAM-Planungsphase rückführbar. Der Maschinenbediener kann Roboterprozesse iterativ optimieren und auch auf ähnliche Planungssituationen übertragen.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 1 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 1 PM

1.8 Arbeitspaket 8: Systemerweiterung durch Hilfsstationen

Zielsetzung

Erhöhung der Flexibilität und Funktionalität der Fertigungsanlage durch Hilfsstationen

Durchgeführte Arbeiten

Im Rahmen dieses AP wurde überprüft, inwiefern durch Hilfsstation die Flexibilität und Funktionalität des Gesamtsystems erweitert werden kann. Hierzu wurden verschiedene Ansätze überprüft und evaluiert. Eine externe Arbeitsstation war eine optische Prüfstation für bearbeitete Werkstücke, in welcher durch Kameratechnik verschiedene Prüfmerkmale erfasst werden kann. Hierzu wurde ein 3D-Kamerasystem (Intel Realsense 430) an den TCP des Roboters montiert und Algorithmen implementiert, mit welchen beispielhaft Bauteile vermessen werden können. Auf Basis des verwendeten optischen Systems konnten nur zuverlässig Genauigkeiten von bis zu 1 mm erzielt werden, wohin gehend die Fertigungsqualitäten teilweise bei 1 µm lagen. Somit kann mit dieser Station die Qualität von bearbeiteten Bauteilen nicht ausreichend bestimmt werden. Insbesondere glänzende Oberfläche, wie z. B. Aluminium, oder schlechte Lichtverhältnisse führten zu hohen Messfehlern. Alternative Verfahren zum Vermessung von Bauteilen existieren, z. B. taktile Verfahren. Diese würden jedoch auf Grund der geringen Absolutgenauigkeit des Roboters von 1 mm keine besseren Messergebnisse liefern. Der Roboter mit seinem Greifsystem ist nicht immer in der Lage, dass Bauteil sofort an der perfekten Stelle zu greifen, sodass es direkt in die Maschine eingelegt werden kann. Eine weitere Herausforderung ist, wenn das Bauteil von beiden Seiten bearbeitet werden muss und hierfür gedreht werden muss. Für diese beiden Fälle wurde eine Umspannstation umgesetzt, welches das Umgreifen von Bauteilen ermöglicht. Hierfür wurde der vorhandene Demonstrator um eine Aufspannplatte und ein Spannsystem der Firma Matrix Automation ergänzt. Das Spannsystem zeichnet sich durch Aufspannflächen aus, die aus gefederten Stiften bestehen. Diese Stifte ermöglichen, dass eine hohe Varianz an Bauteile eingespannt werden können. Durch den Einsatz dieses System können die Bauteile durch den Roboter zwischen den beiden Spannelementen platziert werden, anschließend durch diese fixiert werden und abschließend durch den Roboter wieder an einer anderen Stelle gegriffen werden (vgl. Abbildung 21).

Erzielte Ergebnisse

Die Funktionalität und Flexibilität des Systems konnten erfolgreich durch eine Umspannstation erweitert werden. Jedoch konnte keine optische Prüfstation mit ausreichend hoher Genauigkeit integriert werden.



Abbildung 21: Demonstrator mit Aufspannplatte und Spannsystem

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 1 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 3 PM

1.9 Arbeitspaket 9: Rekonfiguration und Adaption des Gesamtsystems (WZL)

Zielsetzung

Um analog zum 5-Schritte-Modell die Zusammensetzung des Gesamtsystems in Richtung Plug&Produce verändern zu können, bedarf es der Entwicklung einer Erweiterung der Kommunikationsschnittstelle. Hierzu sind insbesondere die Möglichkeiten zur Selbstbeschreibung bzw. Selbstkonfiguration von Geräten zu prüfen, die sich aus der semantischen Beschreibung durch OPC-UA sowie einer Berücksichtigung des entwickelten Informationsmodells (AP2) ergeben.

Durchgeführte Arbeiten

Im Rahmen diesem AP wurde das Gesamtsystem in Richtung Plug&Produce (P'n'P) verändert, sodass das System flexibel durch den Werker auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden kann. Unter P'n'P wird in diesem Zusammenhang verstanden, dass einzelne Komponente an dem Demonstrator getauscht oder hinzugefügt werden können und diese dynamisch in den Gesamtablauf integriert werden. Um dies zu ermöglichen, wird OPC UA als grundlegender Kommunikationsstandard verwendet. Hierbei wird für jede Komponente ein semantisches Informationsmodell benötigt, welches in diesem Fall basierend auf den Ergebnissen aus AP2 erstellt werden kann.

Im Laufe des APs wurden zwei Schnittstellen P'nP fähig umgerüstet. Zum einen wurde die Schnittstelle zur WZM noch einmal näher analysiert. Gerade vor dem Hintergrund, wie können sowohl ältere als auch neuere Maschinen kostengünstig integriert werden. Zum anderen wurde die Anbindung von verschiedenen Greifern betrachtet.

Für die Anbindung von WZM wurde prototypisch die WZMControlBox entwickelt, welche in der Lage ist, analoge Signale aus älteren Maschinen auszulesen, diese zusammenzuführen und anschließend diese Informationen in ein OPC UA Informationsmodell abzubilden. Neuere Maschinen hingegen haben häufig bereits einen OPC Server in ihrer Steuerung integriert, welche die nötigen Informationen bereitstellen. Da die Modelle herstellerseitig sich unterscheiden, existiert eine Funktionalität, welche die Information aus dem maschinenseitigen OPC UA Server in die der WZMControlBox

übertragen kann, sodass maschinenübergreifend ein einheitliches Modell vorhanden ist, welches für den Integration in den Prozess genutzt werden kann.

Um verschiedene Bauteile, welche durch Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses zur Verfügung gestellt wurden, zu handeln, wurden verschiedene Greifer durch jeweils eigene Treiber in das System integriert. Um nun jedoch ein P'n'P Verhalten zu ermöglichen, wurde in einem ersten Schritt ein generisches OPC UA Informationsmodell für Greifer entwickelt (vgl. Abbildung 22). Im Anschluss wurde für jeden Greifer ein OPC UA-Server programmiert, welcher die gerätespezifische Anbindung nach außen einheitlich abstrahiert und kapselt, sodass jeder Greifer auf dieselbe Art und Weise angesteuert werden kann.

Durch das integrierte Greiferwechselsystem kann nun bedarfsgerecht der richtige Greifer für die jeweiligen Bauteile ausgewählt werden. Sobald der jeweilige Greifer mit Strom versorgt wird, wird der OPC UA Server automatisch mitgestartet. Dieser sendet anschließend eine Mitteilung in dem Netzwerk, dass ein neuer Greifer zur Verfügung steht und einsatzbereit ist. Über die einheitliche Schnittstelle kann dieser Greifer jetzt in dem Gesamtablauf verwendet werden.

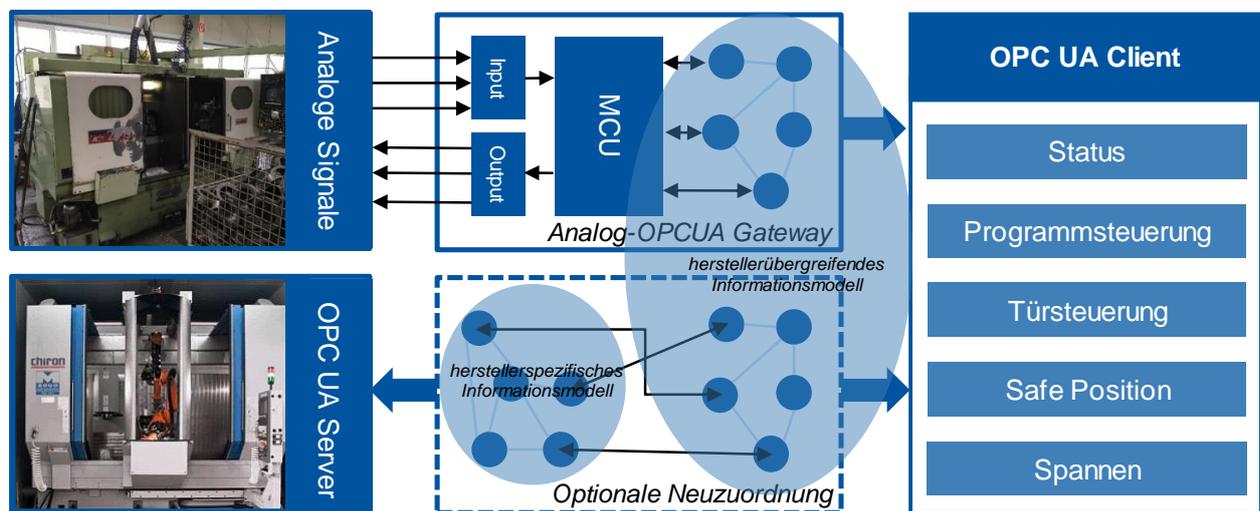


Abbildung 22: Anbindung von sowohl neuen als auch älteren Werkzeugmaschinen

Erzielte Ergebnisse

Es wurde am Beispiel von Werkzeugmaschinen und Greifern gezeigt, wie Systemkomponenten mit Hilfe von OPC UA beschrieben werden können, um so einzelne Elemente des Gesamtsystems Plug&Produce fähig zu machen.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 1 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 3 PM

1.10 Arbeitspaket 10: Umsetzung verschiedener Demonstrationsszenarien

Zielsetzung

Ziel ist es gemeinsam mit den Anwenderunternehmen Demonstrationsszenarien zu entwickeln und im Anschluss an vom WZL zur Verfügung gestellten Werkzeugmaschine zu testen.

Durchgeführte Arbeiten

Im Rahmen dieses AP's wurden zunächst unterschiedliche Szenarien erarbeitet, die verschiedene Herausforderungen bei der Fertigung variantenreicher Werkstücke abbilden. Zur Identifikation der Szenarien erfolgt ein intensiver Erfahrungsaustausch mit den Anwenderunternehmen des projektbegleitenden Ausschusses. Hierbei wurden der Fokus auf die in AP3 vorgestellten Bauteile gelegt, da seitens des PAs großes Interesse bestand, diese in AP11 bei ihnen im Unternehmen zu evaluieren und validieren.

Für die Umsetzung der Szenarien wurden die benötigten Werkzeugmaschinen durch das WZL zur Verfügung gestellt. Die ausgewählten Werkzeugmaschinen (Dreh- und Fräsmaschinen) verfügen über modernste Steuerungs- und Kommunikationstechnik, sodass eine Integration des Demonstrators sichergestellt werden konnte. Im Zuge der Umsetzung wurde nicht nur die Anbindung über OPC-UA getestet, sondern auch die Anbindung über die WZMControlBox, sodass auch die Anbindung älterer Maschine ohne moderne Kommunikationsschnittstelle erfolgen kann. Auf Grund der softwareseitigen Abstraktion der Schnittstellen spielt die Art der Kommunikationsschnittstelle keine Rolle für den Gesamtprozess.

Neben den Werkzeugmaschinen wurden vom WZL auch ein Bosch APAS zur Verfügung gestellt, sodass die unterschiedlichen Sicherheitskonzepte der beiden kollaborativen Roboter für den Einsatz bei der Bestückung von Werkzeugmaschinen verglichen werden konnte. Im Gegensatz zum UR10 verfügt der Bosch APAS über kapazitive Oberflächensensoren, mit welcher Objekte ohne direkte Berührung erkannt werden können. Beim exemplarischen Einlegen von Werkstücken wurde festgestellt, dass dieses dazu führt, dass der Arbeitsbereich des Roboters sehr stark eingeschränkt wird, weil immer auf einen nötigen Sicherheitsabstand geachtet werden muss. Zusätzlich reagieren

die Sensoren sehr empfindlich in metallischen Umgebungen, z. B. im Arbeitsraum einer Maschine, sodass ein Einsatz des Bosch APAS nicht zu empfehlen ist.

Durch die Umsetzung der definierten Demonstrationsszenarien konnten die entwickelten Konzepte erstmals in Praxis getestet werden. Hierbei wurde insbesondere bei der intuitiven Bedienung und Inbetriebnahme Verbesserungspotenzial festgestellt. Zusätzlich gab es die Chance, verschiedene Greiffinger zum Greifen der Bauteile zu testen. Hierbei wurden diese mit einem 3D Drucker solange gedruckt und kontinuierlich verbessert bis benötigte Anforderungen erfüllt waren.

In Abbildung 23 wird beispielhaft die Evaluierung eines Drehflansches an einer DMG CTX 800 Beta dargestellt.



Abbildung 23: Evaluierung des Beispielbauteils der Firma Kirchhoff

Erzielte Ergebnisse

Praxisrelevante Demonstrationsszenarien sind definiert und anlagentechnisch umgesetzt worden.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 2 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 3 PM

1.11 Arbeitspaket 11: Validierung und Evaluation

Zielsetzung

Ziel ist es die entwickelten Methoden und Ansätze am Beispiel von Demonstrationsszenarien hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit und Funktion zu bewerten.

Durchgeführte Arbeiten

Basierend auf den erarbeiteten Demonstrationsszenarien aus AP10 sind die entwickelten Szenarien nun in die Firmen der Anwender übertragen worden, damit eine Validierung der Methoden und Ansätzen vor Ort unter realen Fertigungsbedingungen stattfinden konnte. Im Zuge dessen wurden die Firmen Skrobanek und PH Mechanik besucht, die die Realisierung ihrer Anwendungsfälle kritisch bewertet haben.

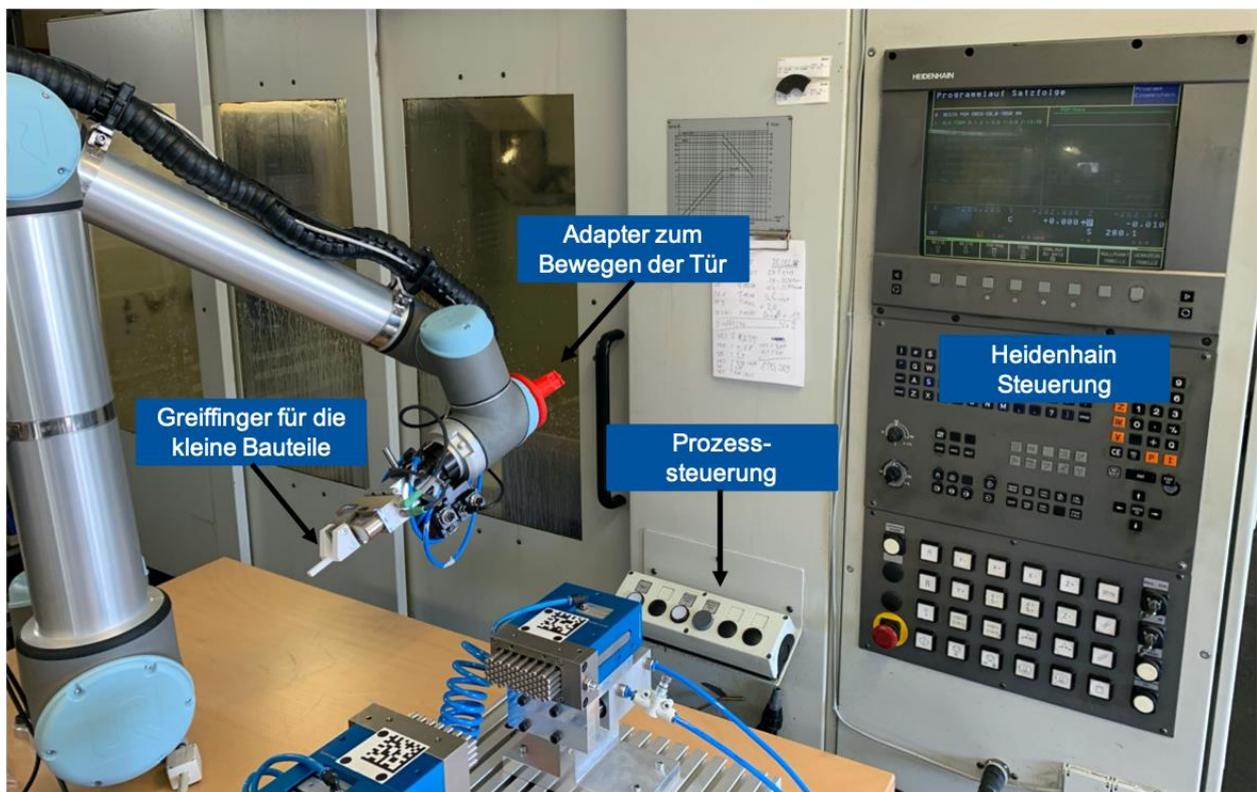


Abbildung 24: Evaluierung bei der Firma Skrobanek

Abbildung 24 zeigt die Ausgangslage der Evaluierung bei der Firma Skrobanek. An der dargestellten Fräsmaschine der Firma Alzmetall wurde der Demonstrator parallel zu der Maschine aufgestellt, sodass alle relevanten Punkte (Ablagepositionen, Spannmittel, Prozesssteuerung) durch den Roboterarm erreicht werden konnten. Es wurde auf eine

starre mechanische Verbindung zwischen Roboter und WZM verzichten. Es wurde nur durch die verstellbaren Füße dafür gesorgt, dass der Demonstrator gerade und stabil auf dem unebenen Boden stand.

Das Ziel dieser Evaluierung war es Kleinteile, in diesem Fall Düsenensätze, möglichst präzise von einer Palette zu greifen, dieses ins Spannfutter der Maschine einzusetzen, das Spannfutter durch Drücken eines Schalter auf der Prozesssteuerung zu schließen, die Tür durch den Roboter zu schließen, den Bearbeitungsprozess wieder durch das Drücken eines Schalters zu starten, nach Abschluss des Prozesses die Tür durch den Roboter zu öffnen, das Spannfutter zu lösen, das Bauteil wieder zu greifen und schließlich auf der Palette wieder abzulegen.

Um den Gesamtprozess zu automatisieren, wurde dieser abschnittsweise in Betrieb genommen und die jeweiligen Teilabschnitte einem Dauertest unterzogen, um Aussagen über die Prozessstabilität treffen zu können.

Seitens Skrobanek sollte besonderes Augenmerk bei der Validierung auf das präzise Greifen und Einlegen der Bauteile in der Maschine gelegt werden. Auf Grund der Bauteilgeometrie und den kleinen Toleranzen bei den Spannmittel war eine Positioniergenauigkeit von unter 1 mm gefordert. Doch es konnte erfolgreich demonstriert werden, dass der Roboter hierzu auch über einen längeren Zeitraum stabil in der Lage ist. Zwischen den einzelnen Versuchen musste der Demonstrator einmal vor und wieder zurück in die Ausgangslage bewegt werden, was dazu geführt hat, dass die zuvor programmierten Abläufe nicht mehr fehlerfrei liefen. Die Ursache liegt darin, dass der Demonstrator selbst bei einer starren Verbindung nicht wieder auf 1 mm genau positioniert und ausgerichtet werden kann. Dieser Fehler führt am TCP des Roboters dazu, dass die Bauteile nicht mehr gegriffen und eingelegt werden können. Hierzu sollte in Zukunft eine Methode entwickelt werden, die die beschleunigte Inbetriebnahme von alten Abläufen ermöglicht.

Im weiteren Verlauf wurde die Interaktion des Demonstrators mit der WZM getestet. Da die Werkzeugmaschine über keine moderne Kommunikationsschnittstelle verfügt, jedoch alle benötigten Aktionen (Spannmittel auf/zu, Prozess starten) bereits als Schalter in der Prozesssteuerung zur Verfügung gestellt wurden, hat der Roboter diese Schalter gedrückt. Hierzu wurde der rote Adapter, der auch zum Öffnen und Schließen der Tür verwendet werden kann, genutzt. Durch die Platzierung des Adapters auf der

gegenüberliegenden Seite vom Greifer wird wertvolle Prozesszeit gespart, da nicht zwischen Greifer und Adapter gewechselt werden muss. Die Steuerung des Prozesses hierrüber zeichnete sich besonders durch ihre Einfachheit aus und dass die Maschine weder software- noch elektrotechnisch verändert werden musste. In Zukunft wäre es denkbar, die Prozesssteuerung mit der entwickelten WZM-ControlBox zu ersetzen bzw. die Signale zu doppeln.

In Summe war das Feedback der Mitarbeiter sehr positiv. Es wurde einzig gewünscht, dass der Einrichtungsvorgang einfacher, schneller und auch für ungelernete Werker intuitiver sein muss.

Als zweiter Anwender wurde die Firma PH Mechanik besucht. Hier war die Ausgangslage ähnlich. Dieses Mal sollte ein Getriebedeckel in die Maschine eingelegt werden. Im Gegensatz zu den Drehteilen wird der Deckel von zwei Seiten bearbeitet und auf Grund des Gewichtes und der Bauteilgeometrie wird der größere Parallelgreifer zwingend benötigt (vgl. Abbildung 25).



Abbildung 25: Evaluierung bei der Firma PH Mechanik

Das Vorgehen bei dieser Evaluierung war sehr ähnlich. Es wurde sich von einzelnen Teilschritten an den Gesamtprozess herangetastet.

Ein besonderes Augenmerk lag auf dem Umspannprozess zwischen den Bearbeitungen. Hierfür wurde das adaptive Spannsystem eingesetzt. Nach der Bearbeitung wurde das

Bauteil in das Spannsystem eingespannt, der Roboter konnte das Bauteil loslassen und an einer anderen Stelle erneut greifen, um es mit der unbearbeiteten Seite nach oben wieder in die Maschine einzulegen. Dieser Vorgang konnte erfolgreich demonstriert werden.

Eine Interaktion zwischen Demonstrator und WZM konnte bei diesem Anwender nicht getestet werden, da hierfür ein Eingriff in die elektrische Verkabelung nötig gewesen wäre, um die WZMControlBox zu installieren. Zum Zeitpunkt der Evaluierung war die rechtliche Frage bezüglich Zertifizierung und Garantie nicht final geklärt, weswegen im weiteren Verlauf hierauf verzichtet wurde.

Insgesamt war der Anwender zufrieden mit der entwickelten Lösung und würde sie gerne bei sich im Unternehmen in Zukunft einsetzen.

Erzielte Ergebnisse

Die entwickelten Methoden und Verfahren zur flexiblen Werkzeugmaschinenautomatisierung wurden durch zwei Anwender positiv beurteilt und evaluiert.

Personaleinsatz

Forschungsstelle 1 (FVP): 1 PM

Forschungsstelle 2 (WZL): 1 PM

1.12 Arbeitspaket 12: Erarbeitung eines Umsetzungskatalogs für Anwender mit unterschiedlichen Anwendungsfällen (FVP)

Zielsetzung

Damit KMU zukünftig die Einführung und die Betriebsaufwände einer flexiblen Werkzeugmaschinenautomatisierung planen können, wird in diesem Arbeitspaket ein Leitfaden entwickelt und diskutiert. Der Leitfaden umfasst Kriterien zur Charakterisierung des unternehmensspezifischen Anwendungsfalls wie z. B. Produktmodell, Anlagenmodell, Bauteilgröße, Stückzahl, Varianz/ Komplexität des Werkstückes, verfügbare Stellfläche an der Werkzeugmaschine, Anschaffungs- und Betriebskosten, Personalkosten für die Vorbereitungen und die Bearbeitung sowie die Kapazität der Werkzeugmaschine. Daneben werden Einzelmaßnahmen definiert und jeweils der spezifische (positive oder negative) Einfluss auf die identifizierten Kriterien festgehalten.

Durchgeführte Arbeiten

In Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses wurde zur Aufnahme des Ist-Zustands der unternehmensinternen Abläufe ein Fragebogen erarbeitet. Dieser umfasst neben dem Aufbau und der Durchgängigkeit der digitalen Infrastruktur, welche während der Bearbeitung eines Fertigungsauftrags eingesetzt wird, insbesondere auch Angaben zum Maschinenpark, zum Bauteilspektrum sowie zu Losgrößen sowie zu bearbeitenden Materialien. Weiterhin lassen sich Betriebs-, Personal- und aktuelle Anschaffungskosten mitaufnehmen. Anschließend lassen sich hieraus exemplarische Bearbeitungsfälle ableiten, die den in Arbeitspaket 11 verwendeten Fallbeispielen zugeordnet werden können. Die im Rahmen der Validierungen entsprechend aufgenommenen Vorteile des FlexARob-Ansatzes (eingesetztes Personal pro Auftrag, Dauer der Bearbeitung unter Verwendung der FlexARob-Automatisierungslösung) lassen sich dann den zum Aufbau zu leistenden Aufwendung gegenüberstellen, sodass sich eine Auftragslage – bestehend aus Anzahl der Aufträge sowie Losgrößen – ableiten lässt, für die eine Einführung der FlexARob-Lösung wirtschaftlich ist. Der Leitfaden wurde nach Diskussion und Befürwortung durch den projektbegleitenden Ausschuss in eine elektronische Form überführt und steht interessierten KMU auch nach Projektende langfristig zur Verfügung.

Erzielte Ergebnisse

Als Ergebnis von Arbeitspaket 12 ist ein elektronischer Leitfaden zur Bewertung und Einführung einer automatisierten Werkzeugmaschinenbeschickung entstanden.

Personaleinsatz

FVP: 2 PM

WZL: 1 PM

2. Verwendung der Zuwendungen

Personaleinsatz

Für die beschriebenen wissenschaftlichen Tätigkeiten wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Bruttoentgelte für wissenschaftlich-technisches Personal der Stufe HPA-A und HPA-B aufgewendet.

Tabelle 2: Personaleinsatz wiss.-techn. Personal

Forschungsstelle		Personenmonate (PM) HPA-A			Summe
		2017	2018	2019	Gesamtlaufzeit
1	FVP	7,2	4,9	0	12,1
2	WZL	10,85	12,35	0,8	24

Forschungsstelle		Personenmonate (PM) HPA-B			Summe
		2017	2018	2019	Gesamtlaufzeit
1	FVP	7,3	4,7	0	12
2	WZL	0	0	0	0

Die Ausgaben für die Beschäftigung von Technikern (HPA-C) und studentischer Hilfskräfte (Stufe HPA-F) durch die Forschungsstelle 2 (WZL) lassen sich dem beiliegenden zahlenmäßigen Nachweis (bZ) entnehmen. Die im Rahmen des Projektes beschäftigten studentischen Hilfskräfte waren projektbegleitend mit Recherche-, Dokumentations- und einfachen Implementierungsaufgaben betraut.

Beschaffungen

Es wurde ein Roboterarm sowie ein Greiferwechselsystem mit mehreren Greifern beschafft, um die hohen Varianz an Bauteilen mit unterschiedlichen Anforderungen hinsichtlich Gewicht, Greifkraft, benötigten Hub Hand haben zu können. Durch das schnelle und flexible Wechsel zwischen Greifern bzw. Werkzeugen kann der Demonstrator individuell auf den Anwendungsfall angepasst werden. Im Detail zählen hierzu:

- Matrix Spannsystem 5.808,87 €
- Schunk EGL90 CN 3.996,38 €
- Roboter UR10: 26.180,00 €
- Greiftechnik: 12257,00€

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Insgesamt entsprechen Beschaffungen und die geleisteten Arbeiten in großem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und waren daher für die Durchführung des Forschungsvorhabens notwendig und angemessen. Lediglich ein Mehraufwand von 2 Personentagen ist Forschungsstelle 1 entstanden, welcher auf die Umstellung des Betriebssystems von Windows 7 auf Windows 10 und die damit verbundene Anpassung bereits umgesetzter, demonstratorischer Schnittstellen zur Datenübertragung zurückzuführen ist. Über die beantragte Laufzeitverlängerung von Forschungsstelle 2 (WZL) hinaus traten keine Verzögerungen auf. Die ausgeführten Arbeiten wurden im Rahmen der letzten PA-Sitzung mit den Mitgliedern des Ausschusses besprochen und für das Erreichen des Projektziels gemeinsam für notwendig und angemessen befunden.

4. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftliche Nutzens insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten

Die Auftragslage bei Lohnfertigern bzw. Bearbeitern von Aluminium-, Stahl- und Edelstahl – typischerweise KMU – ist geprägt von variantenreichen Kleinserien. Dies ist dadurch begründet, dass sich nur durch die Spezialisierung auf spezifische Werkstückgruppen bzw. -charakteristika mit hohen Kompetenzanforderungen Vorteile für diese Unternehmen am Markt ergeben. Durch die zunehmende Digitalisierung in KMU, z. B. durch die Nutzung von CAD/CAM-Technologien oder Werkzeug- und Maschinendatenverwaltungssystemen, erreichen Maschinenbediener als Anwendungsexperten eine hohe Wertschöpfung bei Tätigkeiten der Fertigungsvorbereitung (Planung bzw. Programmierung von Bearbeitungsprozessen) [GAUS11]. Ihre Kapazität wird jedoch durch lange Wartezeiten während der Bearbeitungsausführung – insbesondere bei Kleinserien (1-20 Bauteile/Monat [SIMO15]) – ineffizient gebunden.

Durch die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden KMU in die Lage versetzt, das vorhandene Expertenwissen der beschäftigten Maschinenbediener im Rahmen von Planungsaufgaben fokussierter einsetzen, kurzfristige Personalengpässe leichter kompensieren und Möglichkeiten für eine zweite bzw. dritte Schicht schaffen zu können, damit die mit hohen Investitionen verbundenen Werkzeugmaschinen stärker ausgelastet werden und dynamisch auf die Auftragslage reagiert werden kann. Die einhergehend intensivere Nutzung der digitalen Planungssysteme führt in der Folge zu einer Weiterentwicklung des schon vorhandenen Expertenwissens auf Bedienererebene und dadurch zu einer zusätzlichen Effizienzsteigerung. Dies sind wichtige Voraussetzungen zur Sicherung und zum nachhaltigen Ausbau wissens-intensiver Arbeitsplätze an Hochlohnstandorten wie Deutschland [BREC11].

Mit dem Einsatz handelsüblicher Roboter kann insbesondere die Systeminbetriebnahme durch Kombination von Offline-Planung (CAD-CAM) und Online-Programmierung unterstützt werden, um die beschriebene Tätigkeitsverlagerung zu ermöglichen und wirtschaftlich für KMU eine Steigerung der Produktivität und damit einer Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit zu erzielen.

Die methodischen Projektergebnisse zur digitalen Planungsunterstützung und Datenrückführung können zukünftig darüber hinaus für wissensintensive Tätigkeiten in weiteren Produktionsbereichen übertragen werden, die eng mit modelltechnischen Aspekten der Ähnlichkeitsbewertung von Objekten verbunden sind. Auf diese Weise können z. B. Produktionskosten oder Fertigungskapazitäten aufgrund von Analogien speziell in KMU genauer erfasst und geplant werden.

5. Plan zum Ergebnistransfer

Projektbezogene Veröffentlichungen

Die Projektzischenergebnisse wurden in den folgenden Medien publiziert:

- Lienenlücke, L., Gründel, L., Storms, S., Herfs, W., Königs, M., Servos, M.: Temporal and flexible automation of machine tools. In: 22nd IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2018
- Herfs, W., Lienenlücke, L., Storms, S., Königs, M.: Werkstattorientierte Werkzeugmaschinenautomatisierung durch flexible Roboterunterstützung (FlexARob) In: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 2018, Nr. 5
- Brecher, C., Blanke, P., Storms, S.: Kostengünstige Automatisierung von älteren Werkzeugmaschinen In: Tagungsband Fachtagung Mechatronik 2019; 27.03.- 28.03.2019, Paderborn, Seite 243-248, ISBN: 978-3-945437-05-6

Durchgeführte Arbeiten zum Ergebnistransfer

Als begleitendes Instrumentarium für den Ergebnistransfer in die Wirtschaft werden die Projektergebnisse auf den regelmäßigen Zusammenkünften des projektbegleitenden Ausschusses diskutiert. Dabei sind, wie der Zusammensetzung des projektbegleitenden Ausschusses zu entnehmen ist, Softwareentwickler im Bereich CAM-Systeme, Lohnfertiger in der Frästechnik und Anbieter von Automatisierungslösungen Mitglieder des Ausschusses. Alle am Ausschuss beteiligten Personen können sich als äußerst fachkundig auf dem Gebiet der Zerspanung und Automatisierung ausweisen und die Interessen der Wirtschaft bei der Projektdurchführung aufzeigen, sodass die Voraussetzungen zum Generieren praxisrelevanter Ergebnisse gegeben sind.

Die Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) fanden statt an folgenden Daten:

Tabelle 3: Durchgeführte Treffen des projektbegleitenden Ausschusses

Datum	Ort
22.02.2017	Aachen, Werkzeugmaschinenlabor (WZL)
30.11.2017	St. Ingbert, Festo Polymer GmbH
09.05.2018	Aachen, Werkzeugmaschinenlabor (WZL)
09.04.2019	Aachen, Werkzeugmaschinenlabor (WZL)
28.06.2019	Aachen, Werkzeugmaschinenlabor (WZL)

Über die Treffen des projektbegleitenden Ausschusses hinaus wurden weitere Transfermaßnahmen durchgeführt. Im Folgenden werden einige Highlights herausgehoben, während der nachfolgenden Tabelle alle Maßnahmen entnommen werden können.

Dieser Nachfrage nehmen sich derzeit die im Projektbegleitenden Ausschuss (PA) vertretenen Softwarehäuser, EXAPT Systemtechnik GmbH, an. Die EXAPT Systemtechnik GmbH wird Erkenntnisse des Forschungsprojektes bei der Weiterentwicklung der Produktionsdatenorganisationslösung EXAPTpdo sowie der CAM-Programmierungsumgebung EXAPTsolid berücksichtigen.

Am 21. und 22. November 2018 wurden die Ergebnisse des Projektes FlexARob auf der Veranstaltung „Potentiale und Trends im Bereich der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette“ am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) vorgestellt, dem über 50 Industrievertreter – sowohl Fach- als auch Führungskräfte – beiwohnten. Sowohl die Vision hinter dem Projekt als auch das ausgearbeitete wissensbasierte Konzept stießen auf reges Interesse und großen Zuspruch.

Bereits projektbegleitend wurde das FlexARob-Projekt interessierten Industriepartnern von WZL und FVP in Form einer Mappe vorgestellt, in der ausgewählte Referenzprojekte beschrieben sind.

Im Rahmen der an der RWTH stattfindenden Vorlesungs- und Übungsreihen „Mechatronik und Steuerungstechnik für Produktionsanlagen“, „NC-Programmierung von Werkzeugmaschinen“ und „Automatisierungstechnik für Produktionssysteme“ wurden im Jahr 2018 Inhalte und Vision des FlexARob-Projekts vorgestellt und mit den Studierenden diskutiert.

Tabelle 4: Durchgeführte Transfermaßnahmen zur Projektlaufzeit

Zeitpunkt	Maßnahme
Turning Days 2017 InTec 2017 EMO 2017	Vorstellung der Ergebnisse auf Messen/Kongressen
Februar 2017 April 2017 Februar 2018 April 2018	Vorstellung der Ergebnisse auf der Mitgliederversammlung FVP
Mai 2017	Vorstellung des Projektes und aktueller Ergebnisse auf dem Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2017

Januar bis Dezember 2018	Vorstellung der Projektergebnisse in den Vorlesungen „Mechatronik und Steuerungstechnik für Produktionsanlagen“, „NC-Programmierung von Werkzeugmaschinen“ und „Automatisierungstechnik für Produktionssysteme“
Seit Mai 2017	Auslegen einer Projektmappe an den Versuchsständen des Werkzeugmaschinenlabors
Mai 2018	Workshop und Vorstellung der Ergebnisse bei Walter und bei der RegioIT.
Februar 2018 April 2018 Juni 2018	Teilnahme und Fachtagungen und -konferenzen (Hausmesse EXAPT)
November 2018	WZL Seminar: CAD/CAM/NC-Verfahrenskette
Metav 2018 AMB 2018	Vorstellung der Ergebnisse auf Messen/Kongressen (Metav, AMB)

Geplante Transfermaßnahmen

Am 14. und 15. Mai 2020 findet das Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium (AWK) statt. Unter dem Leitthema „Internet of Production – Turning Data into Value“ werden einem breiten Publikum u. a. die Inhalte und Ergebnisse des FlexARob-Projektes vorgestellt. Der enge fachliche Austausch und die Diskussion mit zahlreichen Anwendern sowie ausgewiesenen Experten anderer Forschungsinstitute werden dabei neue Impulse liefern.

Zudem werden seitens WZL und FVP künftig noch folgende Transfermaßnahmen durchgeführt:

Tabelle 5: Geplante Transfermaßnahmen nach Projektende

Datum/ Zeitraum	Maßnahme
Januar 2020	Projektergebnisvorstellung im WZL-Jahresbericht 2020
Juli 2020	Erstellung und Präsentation eines Webauftrittes auf der Internetseite des Werkzeugmaschinenlabors (WZL)
Juli 2020	Erstellung und Präsentation von Postern sowie deren Ausstellung in den Versuchshallen (WZL)
Mai 2020	Vorstellung des Projekts im Rahmen des AWK's 2020 sowie langfristige Bereitstellung innerhalb einer demonstratorischen Prozesskette
Mai 2020	Unterstützung von Systemanbietern bei der Umsetzung der erarbeiteten Konzepte (derzeit EXAPT)
November 2020	Ergebnispräsentation beim Seminar: „Potentiale und Trends im Bereich der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette“ 2020
Januar 2020	Veröffentlichung des Schlussberichtes auf den Websites vom FVP und WZL
Januar bis Dezember 2020	Vorstellung der Projektergebnisse in den Vorlesungen „Mechatronik und Steuerungstechnik für Produktionsanlagen“, „NC-Programmierung von Werkzeugmaschinen“ und „Automatisierungstechnik für Produktionssysteme“
Februar 2020 April 2020	Vorstellung der Ergebnisse auf der Mitgliederversammlung FVP
April 2020 November 2020	Teilnahme und Fachtagungen und -konferenzen (Hausmesse EXAPT)
Juli 2019	Verwendung der Ergebnisse in Abschlussarbeiten (Azubi-Abschlussarbeiten)

6. Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

Die enge Abstimmung mit dem PA ermöglichte es bereits zur Laufzeit des Projekts Transfermaßnahmen durchzuführen. Dabei wurde insbesondere auf das Erreichen von KMUs und die dedizierte Erklärung des Nutzens für diese geachtet. Abschließend sollen die Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit auf dem AWK 2020 auf Demonstratorebene vorgestellt werden. Das AWK ist die deutsche Leitmesse der Produktions- und Fertigungstechnik mit etwa 1.400 Teilnehmern. Hier werden auch zahlreiche OEMs anwesend sein, sodass ebenfalls ein „Pull-Effekt“ entstehen kann. Eine flexible Automatisierungslösung erhöht die Produktivität in der Fertigung und kann KMUs eine höhere Bindung an ihre Kunden (OEMs) durch eine verbesserte Einhaltung von Terminvorgaben bieten. Am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen findet zudem aktuell der Aufbau einer durchgängigen Automatisierungslösung für die im Rahmen des Projektes betrachteten Anwendungsfälle statt. In dieses Umfeld lässt sich der entwickelte Ansatz gut für die ad-hoc Automatisierung der entsprechend eingesteuerten Aufträge integrieren und kann so weiter getestet und für Vorführungszwecke sowie Demonstrationen genutzt werden. KMU wird hierdurch im Anschluss langfristig die Möglichkeit bereitgestellt, eigene Anwendungsfälle entlang der in diesem Zusammenhang aufgebauten Demonstrator-Prozesskette zu evaluieren, um daraufhin die für das eigene Unternehmen geeignete Automatisierungsaspekte zu etablieren.

Über die Demonstrationsebene hinaus gibt es bereits heute konkrete Zusagen des am begleitenden Ausschuss beteiligten CAM-Systemanbieters EXAPT, welcher Projektergebnisse in seine Systeme einfließen lassen will. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass eine Umsetzung innerhalb von 12-18 Monaten erfolgen wird. Für Endanwender werden die Forschungsergebnisse also zeitverzögert nach Projektende auch am Markt verfügbar sein.

Zusammenfassend wird somit die Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzeptes als hoch angesehen, zumal eine Realisierung der aufgebauten Konzepte 2020 als Demonstrator am WZL, sowie in ca. 1,5 Jahren auch kommerziell umgesetzt sein wird.

7. Literaturverzeichnis

- [BREC11] Brecher, C.; Kozielski, S.; Schapp, L.: Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer. In: Gausemeier, J.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, S. 47–70.
- [BREC14] Brecher, C.; Behnen, D.; Brumm, M.; Carl, C.; Ecker, C.; Herfs, W.; Klement, R.; Königs, M.; Komma, T.; Lohse, W.; Malik, A.; Müller, S.; Özdemir, D.: Virtualisierung und Vernetzung in Produktionssystemen. In: Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G. (Hrsg.): Industrie 4.0: Aachener Perspektiven. Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2014. 1. Aufl. Herzogenrath: Shaker, 2014.
- [FRAN14] Franzkowiak, M.; others: Methodik zur Strukturierung von Vorrichtungssystemen in der Lohnfertigung. Universitätsbibliothek der TU München, 2014.
- [GAUS11] Gausemeier, J. (Hrsg.). In: Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland. Acatech-Workshop, Hannover, 14. September 2010 (Reihe: Acatech diskutiert). Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
- [KINK09] Kinkel, S.: Potenziale der industriellen Automatisierung. VDI/ISI-Pressekonferenz. Baden-Baden, 16.06.2009.
- [KLEI15] Kleindienst, M.; Ramsauer, C.: Der Beitrag von Lernfabriken zu Industrie 4.0 - Ein Baustein zur vierten industriellen Revolution bei kleinen und mittelständischen Unternehmen. In: Industrie-Management, 2015, Nr. 3, S. 41–44.
- [KROE15] Kroehling, U.: Roboterautomation senkt die Kosten pro Bauteil. In: MaschinenMarkt, 2015, Nr. 226.
- [SCHE09] Schenk, M. (Hrsg.). In: Digital Engineering - Herausforderung für die Arbeits- und Betriebsorganisation. Berlin: GITO, 2009.
- [SIMO15] Simon, F.: Serienfertigung - eine Begriffserklärung. URL: <http://www.rechnungswesen-verstehen.de/bwl-vwl/bwl/serienfertigung.php> [Stand: 02.09.2015].

8. Forschungsstellen

Forschungsstelle 1

Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen e.V.

Theaterstraße 12

52062 Aachen

Forschungsstelle 2

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University

Cluster Produktionstechnik

Campus-Boulevard 30

52074 Aachen