

Entwicklung eines flexiblen Automationsbaukastens zur Bauteilhandhabung an Werkzeugmaschinen

Matthias Hertel¹, Torsten Hildebrand², Leif Goldhahn¹

¹Hochschule Mittweida, InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft, Professur Produktionsinformatik, Mittweida, Deutschland

²ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V., Chemnitz, Deutschland

Kurzfassung:

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) werden durch den demografischen Wandel und dem damit verbundenen Fachkräftemangel vor neue Herausforderungen gestellt. Um die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, bedarf es flexibler Automationslösungen in der Produktion, die kostengünstig und intuitiv beherrschbar sind. Dies wirkt personellen Engpässen bei der Werkstückbeschickung von Werkzeugmaschinen entgegen. Im ZIM-geförderten FuE-Kooperationsprojekt „AuRo-Toolbox“ (16KN091730) wird eine digital konfigurierbare und anschließend vom Anwender selbst zu installierende Roboterautomation entwickelt, die Pick & Place Aufgaben sicher und effizient umsetzen kann. Dafür werden Standardmodule entworfen, die im Plug & Play - Prinzip mit anwendungsspezifischen Zusatzmodulen erweitert werden können. Eine Besonderheit ist die Entwicklung einer neuartigen Kommunikationsschnittstelle zwischen Roboter und Werkzeugmaschine, welche die Modernisierung älterer Bestandsmaschinen einspart und somit einen CE-konformen Weiterbetrieb dieser Anlagen mit bereits bestehender Zertifizierung ermöglicht.

1. Einleitung

Produzierende Unternehmen sind auf der Suche nach Lösungen, um einfache und monotone Arbeiten wie die Werkzeugmaschinenbeschickung, die zudem häufig mit einem verminderten personellen Auslastungsgrad einhergehen, zu automatisieren und somit dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Derartige Tätigkeiten erfordern aber auch ein hohes Maß an Flexibilität, um Aufträge mit geringer Stückzahl und hoher Variantenvielfalt an verschiedenen Werkzeugmaschinentypen abzuwickeln, was die Umsetzung von Automatisierungslösungen vor große Herausforderungen stellt [1,2].

Die notwendigen Investitionen für die Automatisierung umfassen nicht nur die technischen Komponenten wie Roboter, Greifer, Unterbau, Sicherheitseinrichtungen usw., sondern auch die Dienstleistungen für das Engineering von der Planung bis hin zur Inbetriebnahme beim Kunden. Diese Dienstleistungen sind zumeist mit Wartezeiten und hohen Kosten für den Kunden verbunden, die wiederum die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Investition infrage stellen können. Trotz Bemühungen von Robotikdienstleistern existieren derzeit kaum Standardlösungen bei Handlingsaufgaben mit Robotern an bereits bestehenden Werkzeugmaschinen [3].

Eine neuartige Methode zur flexiblen Automation von Werkzeugmaschinen wird in [4] vorgestellt. Ein fahrbares und erweiterbares Robotermodul wird per Dockingstation (Bahnhof) mechanisch, elektrisch und pneumatisch mit der Werkzeugmaschine verbunden und kann anschließend sofort für Beschickungsaufgaben eingesetzt werden. Das FuE-Kooperationsprojekt „AuRo-Toolbox“ (16KN091730) verfolgt einen ähnlichen Ansatz zur modularisierten Automation der Bauteilhandhabung,

jedoch mit dem Ziel einer Ferninbetriebnahme durch den Kunden selbst. Über eine digitale Plattform kann sich der Anwender seine individuelle Lösung aus den standardisierten Komponenten des Automationsbaukastens individuell zusammenstellen, die Komponenten selbst aufbauen und in Betrieb nehmen. Dieses Konzept bietet besonders KMU-Endanwendern Chancen zur schnellen und günstigen Automation von Beladeprozessen an Werkzeugmaschinen in Verbindung mit einer zunehmenden Digitalisierung im Betrieb.

2. Entwicklungsziele

Im Projekt soll ein Automationsbaukasten für Pick&Place – Aufgaben an Werkzeugmaschinen (WZM) entwickelt werden, der auf dem „IKEA-Prinzip“ basiert. Eine derartige Adaption im Automationssektor gewährleistet die größtmögliche Autonomie und Flexibilität für das anwendende Unternehmen.

Als Plattform für die geplante Dienstleistung ist die Entwicklung einer durchgehend digitalen Prozesskette von der Konzeption der technischen Lösung beim Hersteller (1.Phase) bis hin zur Inbetriebnahme, Training und Service (2.Phase) beim Kunden notwendig (siehe Abbildung 1).

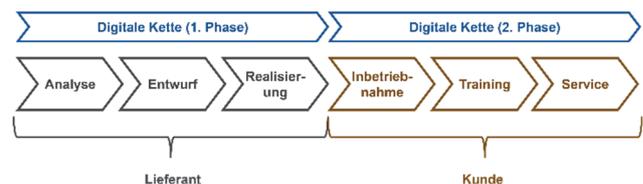


Abbildung 1: Digitale Prozesskette Automationsbaukasten

Das ermöglicht die Verwendung eines digitalen Zwillings des vom Kunden digital konfigurierten Produktes bereits

in der Angebotsphase. Dies wird beispielsweise mithilfe eines Algorithmen-geführten Bestellvorgangs in einem nutzerfreundlich gestalteten Webshop mit integriertem Modul-Konfigurator realisiert. Die Auswahl des Roboters als zentrales Kernmodul erfolgt nach den Parametern Kinematik, Reichweite und Handlinggewicht. Dazu wird ein digitales Lastenheft entwickelt, das durch intuitive Benutzerführung sämtliche relevante Daten vom Kunden aufnimmt und strukturiert zur Generierung eines Lösungsvorschlags an den datenbankbasierten Konfigurator übergibt. Für den Aufbau einer dafür vorgesehenen Datenbank wurde ein Konzept zur Integration des Verwaltungsschalenprinzips vorgestellt, das die Zuordnung digitaler Informationen (Datenblätter, Dokumentationen usw.) zu den konfigurierten Komponenten ermöglicht.

Ein weiteres Projektziel ist die Schaffung neuartiger, universeller Schnittstellen unter Einhaltung der CE-Konformität und Beibehaltung der Gewährleistung durch den WZM-Hersteller. Das heißt, es dürfen keine tiefgreifenden Umrüstungen an der Werkzeugmaschine vorgenommen werden, die im vorliegenden Stand der Technik zur technischen Kommunikation mit dem Roboter benötigt werden.

Die Funktionsfähigkeit des modularen Automationsbaustens wird mithilfe eines Demonstrators für ein Automationssystem nachgewiesen werden, das vollständig autark und mobil einsetzbar ist.

3. Konzeption und Umsetzung

Im Projekt werden die Entwicklungsziele folgendermaßen realisiert. Den Kern des Automationssystems bildet ein lastenheftabhängig definierter Roboter mit Unterbau. Die Fläche des Unterbaus entspricht den Abmessungen einer Europalette mit 1200 mm x 800 mm. Die Höhe der Tischplatte wird zwischen 860 mm und 1060 mm betragen und ermöglicht somit das ergonomische Handhaben von beispielsweise Kleinladungsträgern für den Werker in Anlehnung an [5]. Die Roboterbasis bzw. das Grundgestell des Roboters wird auf die Arbeitsplatte montiert. Eine standardisierte Lösung zur Montage beliebiger Robotertypen auf die Arbeitsplatte befindet sich derzeit noch in der Entwicklung. Die Steuerung des Roboters wird zusammen mit einem Kompressor für autarke Druckluftversorgung und Bodenscannern in den Unterbau integriert. Das ermöglicht einen kompakten Aufbau des Kernmoduls und einen flexiblen Einsatz an unterschiedlichen Standorten beim Anwender.

Die Programmierung der Robotersteuerung stellt eine besondere Herausforderung für den Anwender dar. Aufgrund unterschiedlicher Programmiersprachen bei den verschiedenen Roboterherstellern bedingt dies umfangreiche Programmierkenntnisse beim Anwender, um kundenspezifische Programme individuell erstellen bzw. modifizieren zu können. Im Projekt wird zunächst eine grafisch aufbereitete Nutzerschnittstelle (HMI)

entwickelt, die z. B. Positionskoordinaten der Werkstückübergabe an parametrisierte Programmmodule übergibt und somit den Programmieraufwand für den Anwender erheblich verringert. Eine Weiterentwicklung der Nutzersteuerung ist eine spätere Integration von sogenannter „no-code“-Software, die dem Anwender eine vollständige und herstellerübergreifende Programmierung von Robotern per „drag & drop“-Verfahren erlaubt. Durch die vergleichsweise geringen Anforderungen an die Programmierkenntnisse des Anwenders durch Nutzung einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI), eröffnen sich neue Möglichkeiten zur sicheren Bedienung des Automationssystems für den Endanwender. Die Vermeidung von Hochsprachen-Programmierung ermöglicht durch eine „Demokratisierung der Robotik“ einen einfacheren Einstieg in die Robotik und kann zudem die Programmierzeit verkürzen [6].

Die Auswahl eines Greifers als mechanische Schnittstelle zwischen Roboter und Werkstück erfolgt als Modulbaustein auf Basis der im Lastenheft definierten Werkstückgeometrie robotertypabhängig. Der ausgewählte Greifer muss die Werkstückzuführung zur WZM und die Abführung des in der WZM gefertigten Werkstückes (WS) sicherstellen. Mithilfe von „vision guided robotics“ kann durch Verwendung eines optionalen Kamerasystems die ungeordnete WS-Zuführung durch einen „Griff in die Kiste“ realisiert werden.

Die Abbildung 2 zeigt die digitalen Bausteine der geplanten Toolbox. Ausgehend vom Basismodul Roboter mit Unterbau, den Modulen zur systematischen/ geordneten WS-Zu- und -Abführung mit der Option der chaotischen/ ungeordneten WS-Zuführung als „vision guided robotics“-Modul werden „pick & place“-Aufgaben umgesetzt.

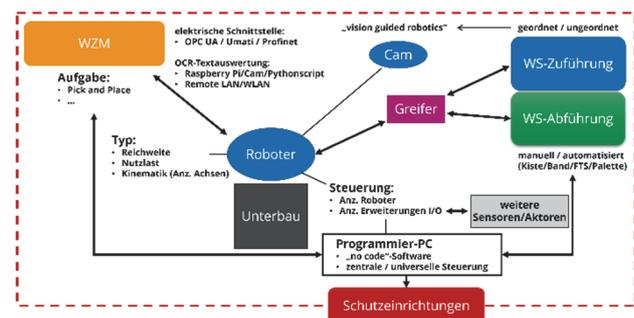


Abbildung 2: Bausteine der AuRo-Toolbox

Eine besondere Herausforderung stellt dabei die kommunikative Anbindung der Anlage an Bestandsmaschinen dar. Fehlende elektrische Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen Roboter- und WZM-Steuerung (z.B. OPC UA, Profinet usw.) erfordern im Stand der Technik eine Aufrüstung der WZM-Steuerung auf PLC-Ebene. Das verursacht zusätzliche Kosten für den Kunden durch die Beschaffung der dafür erforderlichen Komponenten und des für die Aufrüstung erforderlichen, hochqualifizierten Servicepersonals.

Eine Lösung für das Problem der Schnittstellenaufrüstung ist die Auswertung des optisch erkennbaren Werkzeugmaschinenzustandes.

In [7] wird ein Automationssystem angeboten, das die Farbsignale von Statuslampen an der WZM mithilfe einer smarten Kamera auswertet und somit die erforderlichen Basisinformationen für die Ablaufsteuerung des Roboters zur Verfügung stellt.

Im Projekt AuRo-Toolbox wird nun eine schnittstellenfreie Kommunikationslösung zwischen Roboter- und WZM-Steuerung entwickelt. Dabei wird ein Raspberry Pi 4 Minicomputer mit integriertem Kameramodul (V2, Sony IMX219 Chip) vor dem Steuerungsbildschirm der WZM platziert. Die Kamera erfasst somit den gesamten Steuerungsbildschirm. Durch Anwendung der OCR-Texterkennung (Optical Character Recognition) werden Zustandsmeldungen der WZM in Echtzeit mit einem Pythonprogramm ausgewertet. Im vollständig erkannten Text wird anschließend nach vorgegeben Zeichenketten (Strings) gesucht, die den aktuellen Maschinenzustand eindeutig beschreiben. Entspricht eine Zeichenkette im erkannten Text einer Zeichenkette im Vorgabetext, wird über die GPIO-Schnittstelle (General Purpose Input Output) des Raspberry PI ein dafür zugewiesenes Relais geschaltet. Dieses Relais wird mit einem Eingang der Robotersteuerung verbunden, um bspw. ein 24 V Schaltsignal über das Relais weiterzuleiten. Dieses Eingangssignal dient dann im Roboterprogramm zur Erkennung eines eindeutigen Maschinenzustandes und kann dort zur Quittierung eines bedingten Programm-Halts verwendet werden. Die Zuweisung der Relais bzw. Schaltsignale entspricht folgenden Zeichenketten:

- Relais 1: „Verdeck entriegelt“
- Relais 2: „Verdeck verriegelt“
- Relais 3: „Futter offen“
- Relais 4: „Futter gespannt“
- Relais 5: „Halt“ und „Stop“
- Relais 6: „MDA“ oder „Jog“ oder „Reset“.

Die Schaltsignale der Relais 5 und 6 dienen der Zustandsidentifikation der WZM für verschiedene Betriebszustände (Manuell, Semi-Automatik, Automatik) und ermöglichen damit eine Prüfung sämtlicher erkannten Zeichenketten auf Plausibilität. Die Abbildung 3 zeigt den Versuchsaufbau zur Texterkennung an einem WZM-Bildschirminhalt.

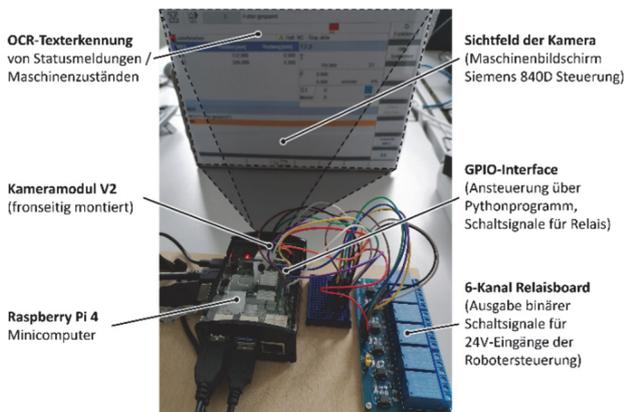


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Texterkennung von Statusmeldungen einer Siemens 840D-Steuerung

Die Erzeugung der Statusmeldungen am WZM-Bildschirm erfolgt entweder über das NC-Programm durch temporäre Mitteilungen nach der Quittierung von maschinenspezifischen M-Befehlen für das Futter spannen/entspannen bzw. Verdeck verriegeln/entriegeln oder direkt über die PLC durch dauerhafte Anzeige des aktuellen Spannmittel- und Verdeckzustandes. Sofern diese Zustände herstellereitig bereits über die PLC dem Maschinenbediener angezeigt werden, erfordert eine nachträgliche Implementation Expertenwissen, über das der Maschinenbediener bzw. Technologie im Normalfall nicht verfügt. Jedoch können Modifikationen im NC-Programm kundenseitig vorgenommen werden, um derartige Meldungen dem Programmablauf hinzuzufügen.

Als Demonstratoren für die geplante Umsetzung der Automationslösung kommen eine Drehmaschine Niles-Simmons N10 und eine Lasergravurmaschine der Firma Sitec Industrietechnologie GmbH zum Einsatz. Als Demonstrationsbauteil wurde ein rotationssymmetrischer Flaschenöffner nach [8] adaptiert. Das Rohteil aus nichtrostendem Stahl 1.4305, mit den Abmessungen $\varnothing 30 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$ wird auf der Drehmaschine beim ICM e.V. in zwei Aufspannungen gedreht. Der Greifer des Roboters wird als Kombigreifer ausgeführt, der das Rohteil und zwei verschiedene Durchmesser des Fertigteils greifen kann. Somit können mit einem Greifer sämtliche Handlingsaufgaben realisiert werden.



Abbildung 4: Drehmaschine Niles-Simmons N10 bei ICM

Das manuelle Verdeck der N10 (siehe Abbildung 4) muss vom Roboter geöffnet und geschlossen werden. Das geschlossene Verdeck wird mittels eines Euchner-Sicherheitsschalters verriegelt. Die Freigabe zum Öffnen des Verdecks durch den Roboter kann dadurch erst nach Anzeige der WZM-Statusmeldung „Verdeck entriegelt“ an die Robotersteuerung übergeben werden. Bei vollständig geöffneten Verdeck positioniert der Roboter das aus dem Kommissionierbereich entnommene Rohteil im Futter der WZM oder entnimmt das gedrehte Teil der Aufspannung A (siehe Abbildung 5), positioniert anschließend das WS für die Aufspannung B oder entnimmt das vollständig gefertigte WS und führt es wieder dem Kommissionierbereich zu. Das Spannen und Entspannen des WS im Futter kann nicht durch den Roboter erfolgen, da das WS während des Spannens/Entspannens in horizontaler Lage gehalten werden muss. Das Spannen und Entspannen erfolgt durch pneumatische

oder mechanische Aktoren, die an den Fußstern der WZM montiert werden. Diese Aktoren werden mit den Ausgängen der Robotersteuerung verbunden und durch das Roboterprogramm angesteuert. Die Aktoren betätigen den jeweiligen Fußstern bis die entsprechenden Meldungen „Futter offen“ oder „Futter gespannt“ auf dem Steuerungsbildschirm der WZM erscheinen und an die Eingänge der Robotersteuerung übermittelt werden. Anschließend wird der jeweilige Aktor in seine Grundstellung zurückgefahren, der Greifer kann geöffnet und das Verdeck durch den Roboter geschlossen werden.

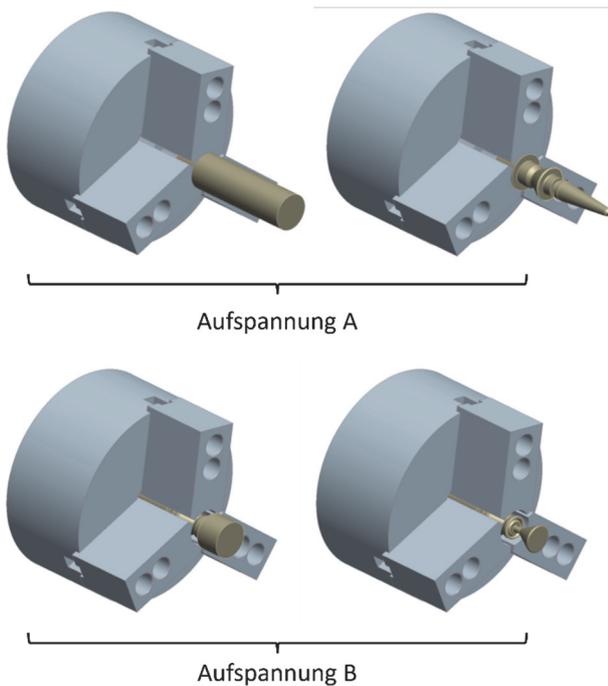


Abbildung 5: Fertigungsablauf des Drehwerkstücks

Eine weitere Aktion, die durch den Roboter nach Verriegelung des Verdecks ausgeführt wird, ist der Programmstart der WZM durch Tastendruck der Taste „Cycle Start“ am Steuerungspult. Um Beschädigungen am Steuerungspult der WZM zu vermeiden, wird ein zusätzliches Tastelement am Roboterarm angebracht, mit dem der Tastendruck beschädigungsfrei ausgeführt werden kann.

Der Automationsdemonstrator wird anschließend auch für die Lasergravurmaschine bei der Firma Sitec zum Einsatz kommen. Im Automationsablauf entfällt der Spann- und Entspannvorgang, da das WS nur eingelegt werden muss. Somit entfallen auch optionale Aktoren zur Bedienung von Fußsternen. Die Positionierung des Automationsdemonstrators bedingt eine geometrische Analyse, ob der Greifer sämtliche Positionen zum Beladen/Entladen/Starttaste an der WZM und den Kommissionierbereich erreichen kann, ohne die Zugänglichkeit zum Arbeitsraum der WZM und zum Steuerungspult für den Maschinenbediener einzuschränken. Eine derartige Analyse soll über das digitale Lastenheft erfolgen und befindet sich derzeit noch in der Entwicklung. Eine kostengünstige Lösung zur wiederholgenauen Positionierung der roboterbasierten Automation vor der WZM

befindet sich ebenfalls in der Entwicklung. Daran schließt sich die Erarbeitung eines kostengünstigen Sicherheitsstandards an, der Verletzungsrisiken durch den Roboter ausschließt. Da ein Zaun als Sperrvorrichtung die Flexibilität des geplanten Automationssystems erheblich einschränkt, wird die Integration von Bodenscannern im Robotermodul bevorzugt, die den Zutritt in den Gefahrenbereich des Roboters sensorisch überwachen. Tritt ein Mensch in den Gefahrenbereich des Roboters ein, wird die Geschwindigkeit des Roboters bis zum Stillstand in der Robotersteuerung herabgeregelt. Das ermöglicht eine hohe Flexibilität und Kompaktheit des Systems, um die Akzeptanz eines derartigen Automationssystems beim Anwender weiter zu steigern.

4. Ergebnisse

Zur Realisierung eines digitalen Konfigurators wurden die technischen Parameter untersucht, die zur Erstellung des digitalen Lastenhefts notwendig sind. Eine Teilapplikation als Demonstrationsbaustein für den webbasierten Konfigurator wurde zur Filterung von Robotern verschiedener Hersteller auf Basis einer eigens dafür erstellten Datenbank entwickelt. Durch Vorgabe der Kinematik (Anzahl Achsen, Reichweite) und des Systemgewichts für Greifer und WS werden dem Anwender passende Robotermodelle vorgeschlagen und die Verkaufspreise angezeigt. Das ermöglicht die Integration des Konfigurators in einen intuitiv bedienbaren Webshop, in dem sich der Kunde gewünschte Automationskomponenten in Modulbauweise selbst zusammenstellen kann.

Die OCR-Texterkennung wurde auf dem Raspberry Pi am Bildschirminhalt einer Siemens840D-Steuerung getestet und die Schaltsignale der Relais für die Robotersteuerung korrekt und manipulationssicher ausgegeben. Technische Risiken bestehen bei Manipulationen im Sichtbereich der Kamera und bei Störungen in der Signalübertragung vom Raspberry Pi zur Robotersteuerung. Um Manipulationen im Sichtbereich der Kamera zu vermeiden, wird der Bildschirminhalt der WZM-Steuerung in einer weiteren Entwicklungsstufe als Konfigurationsoption per Remotezugriff über ein Netzwerk ausgewertet. Das bedingt jedoch eine Netzwerkverbindung zur WZM, über die ältere Bestandsmaschinen nicht unbedingt verfügen.

5. Ausblick

Im Projekt arbeiten derzeit die Projektpartner SITEC Industrietechnologie GmbH, System-Automation Zimmer GmbH, ICS Industriedienstleistungen GmbH, ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. und die Hochschule Mittweida, Professur Produktionsinformatik an der Umsetzung des Funktionsdemonstrators. Im Anschluss an diese Arbeiten sind neuartige digitale Anleitungen zu entwickeln, die eine Inbetriebnahme und den Einsatz der Automatisierungslösung durch den Anwender selbst ermöglichen, technische Risiken transparent darstellen und beherrschbar machen. Perspektivisch gilt

es, das sogenannte IKEA-Prinzip, für die Anwendung im Sondermaschinenbau weiter zu qualifizieren. Quantitativ muss der bestehende Baukasten um viele funktionelle Bausteine erweitert werden, damit weitere Anwendungen, die über das Bestücken von Maschinen hinaus gehen, konfiguriert werden können. Die weit größere Herausforderung liegt in der qualitativen Umsetzung des Ansatzes. Eine individuelle Automationslösung aus einem Baukasten, der eine Vielzahl von Herstellern umfasst, online und mit KI-Unterstützung zu konfigurieren, bietet ein hohes Marktpotenzial. Wenn in die Konfigurationsentscheidung Parameter wie Kompatibilität, Lieferzeit und Endkundenpreis einfließen und sich die Bausteine zu einem digitalen Zwilling fügen lassen, der selbstständig detaillierte Aufbau-, Inbetriebnahme- und Servicekonzepte für die Integration beim Kunden ableitet, dann ist der Maschinenbau in der Zukunft angekommen.

Literaturverzeichnis

- [1] Heidecker Dag (2022): Mit Automation volles Potenzial von Werkzeugmaschinen heben, VDW (Hrsg.), [online] <https://vdw.de/mit-automation-volles-potenzial-von-werkzeugmaschinen-heben/> [24.04.2023].
- [2] Statista (2023) Umfrage zu den größten Risiken im Mittelstand 2022, Statista Research Department, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152891/umfrage/auswirkungen-der-wirtschaftsrisiko-auf-die-unternehmen/> [24.04.2023].
- [3] Fastems Systems GmbH (2021): Automatisierung bereits bestehender Werkzeugmaschinen - Wege zur Weiterentwicklung, Robotik und Produktion 6, S.62.
- [4] FMB Maschinenbaugesellschaft mbH & Co. KG (2023): Mehr als Be- und Entladen: Modularer Baukasten für Roboterzelle - Maschinen flexibel automatisieren mit FMBs, <https://automationspraxis.industrie.de/news/maschinen-flexibel-automatisieren-mit-fmbs-fmbase/> [25.04.2023]
- [5] DIN EN ISO 14738 (2022): Sicherheit von Maschinen – Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitsplätzen für Industrie und Dienstleistungen, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag Berlin.
- [6] Völker, Jonas (2023): Cobots und No Code: Demokratisierung der Robotik, atp!info Vulkan-Verlag Essen, <https://atpinfo.de/produkte-und-loesungen/cobots-und-no-code-demokratisierung-der-robotik/> [04.05.2023]
- [7] Industrie-Partner GmbH (2019): Robo Operator®, Selbstständige, mobile und flexible Roboterzelle als Automatisierungslösung für CNC-Werkzeugmaschinen und Montageautomaten, Pressemitteilung von Industrie-Partner IP EquipmentRental GmbH Coswig, <https://www.ip-equipmentrental.de/de/mietequipment/robo-operator.php>, [04.05.2023]
- [8] Demonstratorbauteil: Multifunktionaler Flaschenöffner und -schließer, Siemens Branchenlösungen, <https://www.siemens.com/de/de/branchen/maschinenbau/werkzeugmaschinen/cnc4you/werkstuecke/flaschenoeffner.html> [20.02.2023]

Danksagung / Angaben zu Fördermittelgebern:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kontakt:

Matthias Hertel, Hochschule Mittweida

hertel@hs-mittweida.de

Dr.-Ing. Torsten Hildebrand, ICM e.V.

T.Hildebrand@icm-chemnitz.de