

Industrie 5.0: Sprachsteuerung als nutzerzentriertes Human-Machine-Interface (HMI)

Methodik zum effizienten Einsatz von Sprachsteuerung

M. Norda, J.-E. Appell, S.C. Lange, A. Hahn

Sinkende Losgrößen, kürzere Produktlebenszyklen und die Hyper-Individualisierung von Produkten erschweren die wirtschaftliche Automatisierung von Produktionsprozessen, wodurch nutzerzentrierte und damit effiziente Human-Machine-Interfaces wie Sprachsteuerung an Bedeutung gewinnen. Die Einflussfaktoren auf deren Effizienz in der Produktion sind vielfältig und komplex, weshalb in diesem Beitrag eine Methodik zur systematischen Identifikation von Anwendungsszenarien für den effizienten Einsatz von Sprachsteuerung vorgestellt wird.

STICHWÖRTER

Industrie 5.0, Mensch und Technik, Arbeitsorganisation

Methodology for the efficient use of voice control

Decreasing batch sizes, shorter product-life-cycles and hyper-individualization of products make it difficult to automate production processes economically, which is why user-centric and therefore efficient human-machine interfaces such as voice control are becoming increasingly important. The factors influencing their efficiency in production are diverse and complex, thus this article presents a methodology for the systematic identification of application scenarios for the efficient use of voice control.

1 Einleitung

Die Anforderungen des globalen Marktes verändern sich hin zu immer individuelleren Produkten mit immer kürzerer Lebensdauer. Gleichzeitig beschleunigt die Entwicklungsgeschwindigkeit von neuen Technologien diesen Trend. Sinkende Losgrößen, kürzere Produktlebenszyklen und eine Hyper-Individualisierung von Produkten erschweren die wirtschaftliche Automatisierung von Produktionsprozessen. Die Flexibilität, mit der sich Produktionssysteme an die Anforderungen globaler Kunden anpassen können, wird in Zukunft ein entscheidender Wettbewerbsfaktor sein. [1–3]

Industrie 5.0 greift die ursprünglichen Industrie 4.0-Ansätze zu Digitalisierung und KI-Technologien zur Steigerung der Effizienz und Flexibilität der Produktion auf und schafft einen ganzheitlichen Ansatz, der neben der Technologie im Rahmen eines nutzerzentrierten Ansatzes (engl.: human-centric approach) den Menschen mit einschließt. [1] Dabei werden die Intelligenz und Auffassungsgabe des Menschen mit all' seinen Sinnen in seiner neuen Funktion als Supervisor mit der Effizienz, künstlichen Intelligenz und Präzision von Maschinen kombiniert. Ziel ist es, Produktionsabläufe mit hohen Anforderungen an die Flexibilität, für die eine (vollständige) Automatisierung unwirtschaftlich ist, mit reduzierten Maschinenbedienzeiten und dadurch höherer Produktivität durch nutzerzentrierte Human-Machine-Interfaces (HMI) zu begegnen. [4, 5]

Sprache bietet als natürlichste Form der Kommunikation das Potenzial, komplexe Menüstrukturen mit direkten Befehlen zu durchbrechen, Laufwege zu reduzieren und eine intuitive Mehr-

maschinenbedienung zu ermöglichen. [6, 7] Technisch sind Sprachsteuerungen, nicht zuletzt aufgrund der jüngsten Entwicklungen im Bereich künstliche Intelligenz (KI), hinsichtlich ihrer Robustheit auf einem für die Produktion nutzbaren Niveau.

2 Stand der Forschung und Motivation

Sprachbefehle sind im Auto, in Mobiltelefonen sowie im Smart-Home-Bereich bereits als Standardschnittstelle etabliert. [6, 8, 9] Obwohl alle diese Sprachsteuerungen auf dem Prinzip der automatischen Spracherkennung (engl.: automatic speech recognition) (ASR) basieren, unterscheiden sich die Beweggründe zum Einsatz dieser. [10] Die Vorteile, wie freie Hände während der Interaktion, der Fokus auf eine Haupttätigkeit oder das Durchbrechen komplexer Menüstrukturen auf kleinen Bildschirmen helfen auch in der Produktion, jedoch ist der treibende Faktor für die Implementierung einer Sprachsteuerung in der Produktion eine potenzielle Effizienzsteigerung des Produktionsablaufs. [11, 12]

Gayathri *et al.* verknüpften 2022 ein Sprachsteuerungsmodul (Elechouse V3) über einen Arduino-Microcontroller mit einer dreiachsigen Miniatur-CNC-Fräsmaschine, um zum einen die technische Funktion der Verknüpfung von Sprachsteuerung und CNC-Steuerung nachzuweisen und zum anderen die Vorteile einer Maschinenbedienung mit freien Händen zu untersuchen. [13]

Schulte *et al.* implementierten 2021 eine Spracherkennungs-API (Vosk/Alphacepi) in einen manuellen Montagearbeitsplatz, um die Betriebsdatenerfassung als nicht wertschöpfende Tätigkeit

zu parallelisieren und damit die Effizienz von Montageprozessen zu steigern. [11]

Gross et al. wiesen bereits 2020 mithilfe einer Consumer-Sprachsteuerung (Amazon Echo Dot) nach, dass die grundsätzliche Steuerung eines Arduino-Roboters per Sprache einfach möglich ist. Gleichzeitig postulierten sie, dass weniger das konkrete Spracherkennungssystem, sondern mehr klare Gestaltungsregeln von Sprachbefehlen für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine einen Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit (engl. Usability) des HMI und damit die Effizienz der Interaktion haben. [12]

Trotz des technischen Reifegrads von Sprachsteuerung bleibt die flächendeckende Integration von Sprachsteuerung in der Produktion bisher aus. Neben der robusten Spracherkennungstechnologie sowie Adaptionenmöglichkeit an moderne industrielle speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) bedarf es Methoden zur gebrauchstauglichen und damit effizienten Implementierung von Sprachsteuerung in der Produktion, um das Potenzial sichtbar zu machen und einen Market-Pull zu generieren.

3 Einflussfaktoren auf die Effizienz von Sprachsteuerung als industrielles HMI

Die Effizienz wird nach DIN EN ISO 9241-11 neben der Effektivität und Zufriedenstellung des Bedieners als Bestandteil der Gebrauchstauglichkeit von Mensch-Maschine-Systemen über das Verhältnis zwischen eingesetzten Ressourcen (Zeit, menschlicher Aufwand, Geld und Materialien) und den erreichten Ergebnissen definiert. Wesentliche Ressource für die Messung der Effizienz von HMIs ist die Zeit für die Ausführung einer Aufgabe, inklusive Korrektur etwaiger Eingabebefehle. [14]

Dabei hängt die Effizienz von HMIs zum einen von der Leistungsfähigkeit der Maschinenbediener und zum anderen von der Leistungsfähigkeit der jeweiligen HMI-Modalität ab. Die Leistungsfähigkeit der Maschinenbediener setzt sich aus vielen individuellen und zum Teil tagesformabhängigen Faktoren zusammen. Neben eher konstanten Faktoren, wie dem Ausbildungsgrad, speziellem Prozess- und Maschinenwissen sowie motorischen und visuellen Fähigkeiten, haben tagesindividuelle Faktoren, wie die Motivation und physische sowie kognitive Verfassung eines Maschinenbedieners, einen wesentlichen Einfluss auf die Interaktionsgeschwindigkeit und damit auf die Effizienz eines HMI. Da diese Faktoren, vor allem in Zeiten des Fachkräftemangels, immer schwerer beeinflussbar werden und gleichzeitig zu großen Teilen HMI-unabhängig sind, liegt der Fokus in diesem Beitrag auf den technischen Einflussfaktoren unter der Voraussetzung gleichbleibender menschlicher Einflussfaktoren im Betrachtungszeitraum.

Die technischen Einflussfaktoren auf die Effizienz von Sprachsteuerung in der Produktion im Verhältnis zu konventionellen HMI, wie Knöpfen, Hebeln, Tastatur, Maus und Touchscreen sind vielfältig und komplex. Sie reichen von der Komplexität der Bedienungsaufgabe (Einschalten einer Prozesskammerbeleuchtung vs. Setzen eines neuen Werkstücknullpunkts) über das Befehlsdesign (Auswahl und Anordnung von Hotwords, Parametern und Attributen im Sprachbefehlssatz) und die Befehlskomplexität (Menüebenen und Anzahl an Interaktionen im konventionellen visuellen HMI) bis hin zur Bedienungsart (Automatikbetrieb, Teilautomatikbetrieb, Handbetrieb) der Maschine. Gleichzeitig spielen der Produktionsablauf mit seinen potenziellen Laufwegen, die Anzahl der zu bedienenden Maschinen sowie die Auswahl der

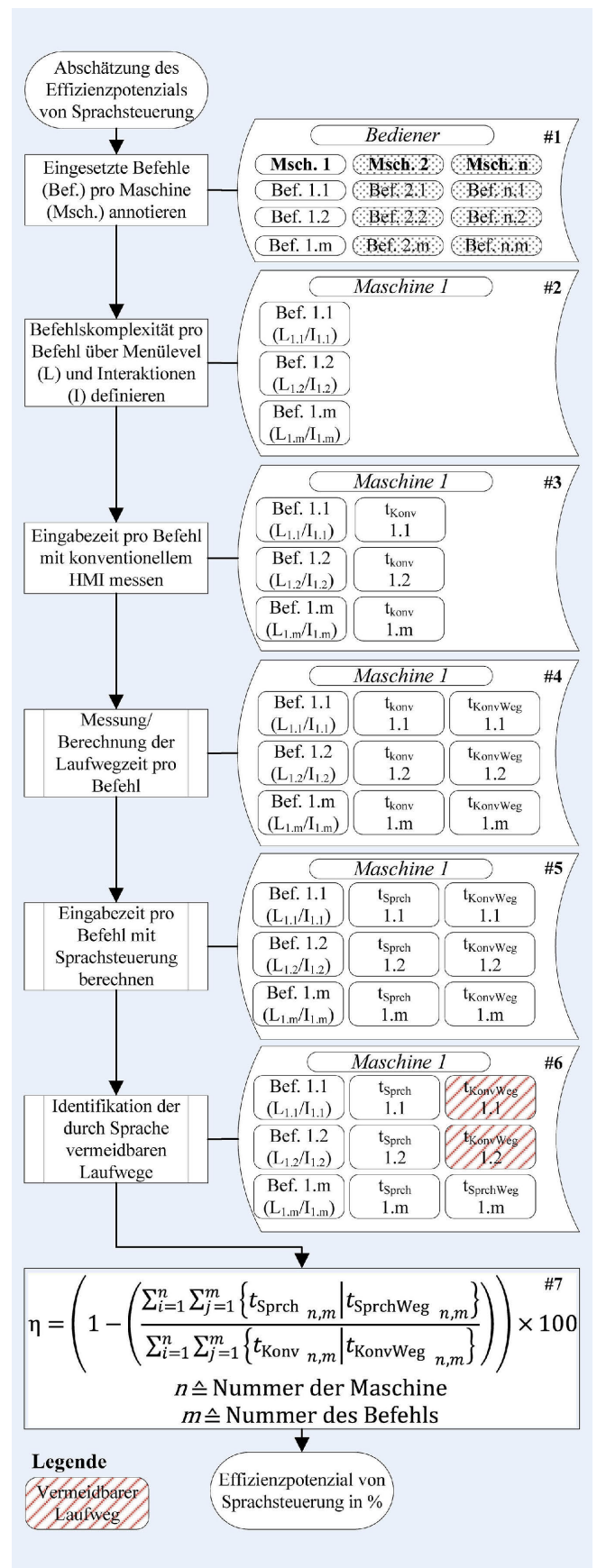


Bild. Methodik zur Abschätzung des Effizienzpotenzials von Sprachsteuerung in der Produktion. Grafik: Fraunhofer IDMT

Tabelle 1. Zeitäquivalente für Menüebenen [10]

| Menüebenen | Zeitäquivalent |
|------------|----------------|
| 0 | 1,38 |
| 1 | 0,82 |
| 3 | 0,40 |
| 5 | 0,35 |

Tabelle 2. Zeitäquivalente für die Anzahl an Interaktionen [10]

| Interaktionen | Zeitäquivalent |
|---------------|----------------|
| 1 | 1,38 |
| 3 | 0,79 |
| 5 | 0,48 |
| 6 | 0,39 |
| 7 | 0,33 |
| 10 | 0,34 |

Audioschnittstelle (Headset, Mikrofon oder Mikrofon-Array) und deren Positionierung in der Produktionsumgebung eine wichtige Rolle. Nicht alle Einflussfaktoren haben in jedem Produktionsablauf den gleichen Einfluss auf die Effizienz der Kollaboration zwischen Mensch und Maschine, weshalb eine Quantifizierung von Einflussfaktoren sinnvoll ist.

4 Methodik zur Identifikation von Anwendungsszenarien für effiziente Sprachsteuerung

Im **Bild** wird eine Methodik zur systematischen Abschätzung des Effizienzpotenzials von Sprachsteuerung in der Produktion auf Basis der drei übergeordneten Einflussfaktoren „Anzahl der zu bedienenden Maschinen“, „Befehlskomplexität in einem konventionellen HMI auf Basis von Menüebenen und Interaktionen“ sowie „Laufwegen im Produktionsprozess“ dargestellt. Die Beschränkung auf die drei Einflussfaktoren basiert auf der Abwägung zwischen der Komplexität der Methodik und der Präzision der Ergebnisse. Die detaillierteste Methodik, die alle Einflussfaktoren für die Abschätzung des Effizienzpotenzials umfasst, wird in der Praxis nicht angewendet. Mit dieser allgemeingültigen produktionsprozessunabhängigen Methodik kann bereits vor der Implementierung einer Sprachsteuerung die Effizienzsteigerung im Vergleich zu einem konventionellen HMI abgeschätzt werden.

Im Schritt #1 wird die Anzahl an Maschinen identifiziert, die ein Bediener im Rahmen eines Arbeitstages bedient, und anschließend die genutzten Befehle pro Maschine entlang des Produktionsablaufs annotiert. Dies kann händisch durch ein Begleiten des Maschinenbedieners durch eine weitere Person (engl. Shadowing) oder aber automatisiert durch eine maschinenseitige Protokollierung geschehen. [15] Die Anzahl der Maschinen skaliert potenziell reduzierte Eingabezeiten in komplexen Menüstrukturen als Folge direkter Sprachbefehle oder die Vermeidung von Laufwegen durch Sprachbefehle.

Im Folgenden wird im Schritt #2 die Komplexität jedes annotierten Befehls auf Menüebenen und die Anzahl der Interaktionen

im Menü des konventionellen grafischen HMI heruntergebrochen. Die Detaillierung über die Anzahl der Interaktionen ist notwendig, da auch auf einer Menüebene mehrere Interaktionen stattfinden können, wenn zum Beispiel gescrollt oder ein Eingabefeld ausgefüllt werden muss. Die Anzahl der Interaktionen ist also nur eine feinere Messgröße als die Anzahl der Menüebenen für die Komplexität des Graphical User Interface (GUI). [10]

Nun werden im Schritt #3 die Eingabezeiten für jeden annotierten Befehl mit der konventionellen HMI-Modalität gemessen. Dieser Schritt ist schon schwieriger, da der Beginn der Interaktion mit der Maschine in einem konventionellen Maschinenprotokoll nicht automatisch erfasst wird, sondern lediglich der Zeitpunkt der letztendlichen Ausführung des Maschinenbefehls. Hier ist es spätestens notwendig, dass eine weitere Person mit einer Stoppuhr die Interaktionszeiten pro Befehl, im Besonderen aber den Start der Interaktion, erfasst.

Jetzt werden im Schritt #4 die zugehörigen Laufwege (wenn vorhanden) pro Maschinenbefehl in Metern gemessen. Bewegt sich der Maschinenbediener während des Arbeitstages im Rahmen des Produktionsablaufs nicht zwischen mehreren Maschinen, so entfällt dieser Schritt. Läuft der Maschinenbediener zur Maschine und gibt mehrere Befehle nacheinander ein, so wird nur der erste Befehl mit einem Laufweg versehen. Nachdem die Länge der Laufwege ermittelt wurde, muss diese in die Laufzeit umgerechnet werden. Hierfür werden die tatsächlichen Laufzeiten der Maschinenbediener pro Laufweg per Stoppuhr erfasst. Die zweite Möglichkeit ist die Messung der durchschnittlichen Laufgeschwindigkeit von Bedienern im eigenen Unternehmen und das anschließende Dividieren der einzelnen Laufwege durch die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit. Die dritte Möglichkeit ist die Nutzung des Methods-Time Measurement Universal Analysis System (MTM-UAS) der MTM Association e.V., laut der Mitarbeitende im Durchschnitt 25 Time-Measurement-Units (TMU), also 0,9 s benötigen, um einen Meter Laufweg zurückzulegen. Dies entspricht einer Laufgeschwindigkeit von 1,11 m/s. [16–18] Die dritte Methode, also die Verwendung eines empirisch ermittelten Durchschnitts, ist für die Abschätzung des Effizienzpotenzials von Sprachsteuerung in dieser Methode für die Genauigkeit ausreichend.

Im folgenden Schritt #5 werden die Interaktionszeiten des konventionellen HMI für jeden Befehl, entsprechend seiner Menüebene, beziehungsweise der Anzahl an Interaktionen mit den Zeit-Äquivalenten für einen entsprechenden Sprachbefehl multipliziert, um die Interaktionszeit für eine Sprachsteuerung zu erhalten. Sprachbefehle erlauben die direkte Adressierung von Maschinenbefehlen, die konventionell nur zeitintensiv über mehrere Menüebenen und Interaktionen erreichbar sind. In **Tabelle 1** und **Tabelle 2** werden exemplarisch Zeitäquivalente für die Einsparung von Menüebenen und Interaktionen durch Sprachsteuerung im Vergleich zu einer Touchscreensteuerung gezeigt. Diese wurden in einer Probandenstudie, bei der ein state-of-the-art (SOTA) GUI mit einer Sprachsteuerung verglichen wurde, empirisch ermittelt. Zeitäquivalente größer eins zeigen längere Eingabezeiten und Zeitäquivalente unter eins kürzere Eingabezeiten durch Sprachsteuerung an. [10]

Nachfolgend werden im Schritt #6 die durch eine Sprachsteuerung vermeidbaren Laufwege identifiziert. Im Kontext der Effizienz von HMIs lassen sich die Laufwege vier Kategorien zuordnen. Zu den „unvermeidbaren“ Laufwegen zählen Wartungs-, Bedienungs- und Handhabungstätigkeiten, die sich nicht über die

Arbeitsorganisation optimieren lassen und/oder unabhängig von der HMI-Modalität sind. Laufwege, die sich durch eine „optimierte Arbeitsorganisation“ vermeiden lassen, sind beispielsweise Laufwege in der Produktionshalle, um benötigte Werkzeuge und Materialien zur Störungsbeseitigung zu beschaffen, die auch bereits vorkonfektioniert am Arbeitsplatz zur Verfügung stehen könnten. Durch ein „optimiertes HMI-Konzept (ohne Sprachsteuerung)“, wie einen zentralen Leitstand, zentralen Bedienpunkte oder mobile Endgeräte können ebenfalls Laufwege in der Produktion eingespart werden. Für die Methodik sind nur Laufwege der letzten Kategorie, die „durch Sprachsteuerung vermeidbar“ sind, relevant. Mithilfe einer Sprachsteuerung können Bediener beispielsweise über ein Mikrofon-Array mit freien Händen einen Roboter einrichten, ohne Laufwege zwischen dem Endeffektor und dem HMI zurücklegen zu müssen. Gleichzeitig können sie Laufwege vermeiden, indem sie über ein Headset ortsunabhängig den Status mehrerer Maschinen abfragen, neue Halbzuge per Automated Guide Vehicle (AGV) ordern oder nächste Prozessschritte in eigensicheren Maschinen starten. Die Kategorisierung der verschiedenen Arten von Laufwegen in der Produktion wurde in einer Industrieuntersuchung mit mehreren deutschen Unternehmen entwickelt. [16]

Im letzten Schritt #7 werden über alle Maschinen des Bedieners die Eingabezeiten sowie die zugehörigen Laufwegzeiten der konventionellen HMIs aufsummiert und durch die Eingabezeiten und zugehörigen Laufwegzeiten einer potenziellen Sprachsteuerung dividiert. Zuletzt wird der Quotient in Prozent umgerechnet. Negative Prozentwerte zeigen eine verschlechterte Effizienz und positive Prozentwerte eine gesteigerte Effizienz der Interaktion durch den Einsatz einer Sprachsteuerung an.

5 Fazit und Ausblick

Die entwickelte Methodik senkt für produzierende Unternehmen die Hürde für die Implementierung neuartiger, nutzerzentrierter HMIs, wie zum Beispiel einer Sprachsteuerung, da bereits im Vorhinein eine potenzielle Effizienzsteigerung abgeschätzt wird. Die systematische Analyse des Produktionsablaufs entlang der Methodik wird ohne den Eingriff in bestehende Hard- oder Software, wie es bei der Alternative, der tatsächlichen Integration einer Sprachsteuerung als weitere HMI-Modalität an der Maschine und dem anschließenden Vergleich von Eingabezeiten und Laufwegen der Fall wäre, durchgeführt. Mit überschaubarem Aufwand wird so zum Teil aus bestehenden Daten das produktionsablaufspezifische Potenzial zur Effizienzsteigerung durch eine Sprachsteuerung abgeschätzt.

Der tatsächliche Vergleich der realen Bedienzeiten einer Sprachsteuerung mit einem konventionellen HMI desselben Produktionsablaufs, Bedieners, Maschinen, Befehlen und Laufwegen wird immer die präziseren Messwerte hervorbringen als die Abschätzung des Effizienzpotenzials mit Hilfe empirisch ermittelter Zeitäquivalente und berechneten Laufzeiten über TMUs. Der Aufwand zur Integration einer Sprachsteuerung ist aber gleichzeitig auch immer höher als die Identifikation der effizientesten HMI-Modalität mit der Methodik.

Neben der Abschätzung des Effizienzpotenzials einer Sprachsteuerung führt die systematische Auseinandersetzung mit HMIs von Produktionsmaschinen auch zu Synergieeffekten bei der Identifizierung verborgener Optimierungspotenziale vorhandener

Produktionsabläufe und zugehöriger konventioneller HMIs. Dies ist besonders im Bereich der GUIs von Produktionsmaschinen und Laufwegen, die durch eine optimierte Arbeitsorganisation oder ein optimiertes HMI-Konzept vermieden werden können, der Fall.

FÖRDERHINWEIS

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projekts „Voice-Controlled Production“ (VCP) am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT, Institutsteil Oldenburg für Hör-, Sprach- und Audiotechnologie HSA, in Kooperation mit der Hochschule Emden/Leer durchgeführt. Das Fraunhofer IDMT in Oldenburg wird im Rahmen des Programms „Vorab“ durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur und durch die Volkswagen Stiftung für seine Weiterentwicklung gefördert (Aktenzeichen 11 – 76251–2005/2021 (ZN3812)).

DANKSAGUNG

Vielen Dank an unsere Kollegen vom Fraunhofer IDMT in Oldenburg, *Jens Adrian* und *Matthias Stennes*, für das stets kritische Feedback und die Unterstützung bei der Aufbereitung der Forschungsergebnisse sowie Entwicklung der vorgestellten Methodik. Ebenfalls einen herzlichen Dank an *Lorenz Arnold*, Geschäftsführer der Firma MGA-Ingenieurdienstleistungen GmbH aus Würzburg, der das Projekt „Voice-Controlled Production“ von Anfang an als Industrie-Gutachter begleitet und uns nie die Nähe zur industriellen Praxis verlieren lassen hat.

Literatur

- [1] Breque, M.; Nul, L. de; Petridis, A.: Industry 5.0. Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Luxembourg: Publications Office of the European Union 2021
- [2] Khan, M.; Haleem, A.; Javaid, M.: Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0. *Green Technologies and Sustainability* 1 (2023) 2, S. 100020
- [3] Müller, R.; Vette, M.; Geenen, A.: Potentiale der Mensch-Roboter-Kooperation in der Flugzeugproduktion*/Potential of the human-robot-cooperation in aircraft assembly. *wt Werkstattstechnik online* 105 (2015) 09, S. 614–618
- [4] Leng, J.; Sha, W.; Wang, B. et al.: Industry 5.0: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems* 65 (2022), S. 279–295
- [5] Mertes, J.; Lindenschmitt, D.; Amirrezaei, M. et al.: Evaluation of 5G-capable framework for highly mobile, scalable human-machine interfaces in cyber-physical production systems. *Journal of Manufacturing Systems* 64 (2022), S. 578–593
- [6] Günther, B.: Künstliche Intelligenz in der Automobilindustrie: Von den ersten Visionen bis zu selbst denkenden Autos. In: Aichele, C.; Herrmann, J. (Hrsg.): *Betriebswirtschaftliche KI-Anwendungen. Digitale Geschäftsmodelle auf Basis Künstlicher Intelligenz*. Wiesbaden: Springer Vieweg 2022, S. 243–268
- [7] Ghofrani, J.; Reichelt, D.: Using Voice Assistants as HMI for Robots in Smart Production Systems. ZEUS Workshop, Hochschule für Technik und Wirtschaft, Bayreuth, 2019

- [8] Kahle, T.; Meißner, D.: All about voice. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe Group Januar 2020
- [9] Geisler, S.: Von Fahrinformation über Fahrassistenz zum autonomen Fahren. In: Reuter, C. (Hrsg.): Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion. Interaktive Technologien und Soziale Medien im Krisen- und Sicherheitsmanagement. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg 2021, S. 383–403
- [10] Norda, M.; Engel, C.; Rennies, J. et al.: Evaluating the Efficiency of Voice Control as Human Machine Interface in Production. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (2023), S. 1–12
- [11] Schulte, D.; Sudhoff, M.; Kuhlenkötter, B.: Spracherkennung in der manuellen Montage/Speech recognition in manual assembly. wt Werkstattstechnik online 111 (2021) 09, S. 579–582
- [12] Gross, E.; Finkbeiner, S.; Siegert, J. et al.: Sprachsteuerung für die Mensch-Roboter-Kollaboration in der Montage/Design of voice commands for human-robot collaboration in assembly. wt Werkstattstechnik online 110 (2020) 01–02, S. 73–79
- [13] N, G.; M, S.; R, S. et al.: Design of Voice Controlled Multifunctional Computer Numerical Control (CNC) Machine. 2022 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), Nepal, 7202022, S. 657–663
- [14] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. / DIN-Normenausschuss Ergonomie: 9241–11. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Berlin: Beuth Verlag GmbH November 2018
- [15] Lazar, J.; Feng, J. H.; Hochheiser, H.: Research methods in human-computer interaction. Cambridge, MA: Elsevier Morgan Kaufmann Publishers 2017
- [16] Norda, M.; Veenhuis, T.; Engel, C. et al.: Effizienzsteigerung: Laufwegreduzierung durch Sprachsteuerung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 118 (2023) 10, S. 693–698
- [17] MTM Association e.V.: MTM-UAS Grundvorgänge. Internet: <https://mtm.org/ueber-mtm/datenkarten/mtm-uas-universelles-analysiersystem>. Zugriff am 03.01.2024
- [18] Syska, A.: Produktionsmanagement. Das A – Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute. Wiesbaden: Gabler 2006




Marvin Norda, M. Eng. 

Foto: Anika Bödecker, Fraunhofer IDMT

Fraunhofer-Institut
für Digitale Medientechnologie IDMT
Institutsteil Hör-, Sprach- und Audiotechnologie HSA
Marie-Curie-Str. 2, 26129 Oldenburg
Tel. +49 441 2172-426
marvin.norda@idmt.fraunhofer.de
www.idmt.fraunhofer.de/hsa

Dr. rer. nat. Jens-E. Appell

Fraunhofer-Institut
für Digitale Medientechnologie IDMT
Institutsteil Hör-, Sprach- und Audiotechnologie HSA
Marie-Curie-Str. 2, 26129 Oldenburg

Prof. Dr.-Ing. Sven Carsten Lange

Hochschule Emden/Leer
Fachbereich Technik, Abteilung Maschinenbau
Constantiaplatz 4, 26723 Emden

Prof. Dr.-Ing. Axel Hahn 

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut Systems Engineering für zukünftige Mobilität
Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg
Escherweg 2, 26121 Oldenburg

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)