

## Trends in der Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen im Kontext der Industrie 4.0

Benjamin ADRIAN, Daniel RIEDIGER, Sven HINRICHSSEN

*Labor für Industrial Engineering, Hochschule Ostwestfalen-Lippe  
Liebigstraße 87, D-32657 Lemgo*

**Kurzfassung:** Die Bedeutung der ergonomischen Gestaltung von Produktionsmaschinen nimmt vor allem im Kontext von Entwicklungen der sogenannten »Industrie 4.0« zu, da zusätzliche Funktionen in Produktionsmaschinen integriert werden. Diese führen zu einer erhöhten technologischen Komplexität (Brecher et al. 2011) und zu höheren kognitiven Anforderungen bei der Maschinenbedienung (Levchuk et al. 2012). Im Rahmen des vom Land NRW geförderten Forschungsschwerpunktes »ProErgo« (Ergonomische Gestaltung von Produktionsmaschinen im Kontext der Industrie 4.0) wurden Studien an verschiedenen Produktionsmaschinen durchgeführt. Die gewählte Vorgehensweise beinhaltete eine Nutzungskontextfassung an der jeweiligen Maschine, die Durchführung von Usability-Tests in Kombination mit Video- und Sprachaufzeichnungen, den Einsatz von Fragebögen sowie einen abschließenden Workshop, in dem auf Basis der Analyseergebnisse Maßnahmen und mögliche Weiterentwicklungen diskutiert wurden. Aus den Untersuchungsergebnissen und weiteren Praxisbeispielen werden Trends und Handlungsfelder in der Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen im Kontext der Industrie 4.0 abgeleitet und durch Beispiele verdeutlicht.

**Schlüsselwörter:** Industrie 4.0, Maschinenbediensysteme, Trends

### 1. Einleitung

Im Kern der »Industrie 4.0« steht das Zukunftsbild der »Smart Factory« (Kagermann et al. 2012), in der eine Vielzahl von »Cyber-Physical Systems« zusammenwirkt. Dieses Zukunftsbild bezieht sich auf die Faktoren Betriebsmittel, Menschen und Produkte, welche die wesentlichen Bestandteile eines Arbeitssystems darstellen (Hinrichsen & Jasperneite 2013). Die zunehmende Vernetzung dieser Bestandteile führt zu steigenden Informationsmengen und höheren Steuerungsaufwänden. Sie wirkt sich auf Produktionsmaschinen dahingehend aus, dass diese mit zusätzlichen Funktionen ausgestattet werden. Der steigende Funktionsumfang der Maschinen führt für den Bediener dabei zu einer erhöhten Anzahl von Bedienelementen, die vielfach die Übersichtlichkeit der Bedienung einschränkt (Brecher et al. 2011) und erhöhte kognitive Anforderungen an die Maschinenbedienung stellt (Levchuk et al. 2012). Darüber hinaus erhöht der steigende Funktionsumfang die Wahrscheinlichkeit, dass Maschinenbediener bei ihrer alltäglichen Arbeit nur einen Teil der ihnen zur Verfügung stehenden Funktionen nutzen und damit die wirtschaftlichen Potentiale der Maschinen nicht ausschöpfen (Hinrichsen et al. 2015).

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, Trends und Handlungsfelder bei der ergonomischen und wirtschaftlichen Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen

im Kontext der Industrie 4.0 zu formulieren. Dazu wurde der induktive Forschungsansatz zugrunde gelegt. Verbesserungshinweise aus mehreren empirischen Untersuchungen im Rahmen des vom Land NRW geförderten Forschungsschwerpunktes »ProErgo« (Ergonomische Gestaltung von Produktionsmaschinen im Kontext der Industrie 4.0) zur Ergonomie von Produktionsmaschinen wurden gesichtet, kategorisiert und um relevante Praxisbeispiele aus der Literatur ergänzt, um möglichst allgemeingültige Trends und Handlungsfelder einer Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen im Kontext der Industrie 4.0 ableiten zu können.

## 2. Studien zur Ergonomie von Produktionsmaschinen im Rahmen des Forschungsschwerpunktes ProErgo

Die Studien im Forschungsschwerpunkt ProErgo hatten das Ziel, die intuitive Bedienbarkeit von Produktionsmaschinen und deren Bediensystemen zu untersuchen sowie Gestaltungsansätze zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zu erarbeiten. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die untersuchten Maschinen deutliches Optimierungspotential hinsichtlich der nutzergerechten Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle aufwiesen (siehe u.a. in Riediger et al. 2014 / Riediger et al. 2015). Die im vorliegenden Beitrag betrachteten Studien sind in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1:** Ausgewählte Studien zur Ergonomie von Produktionsmaschinen

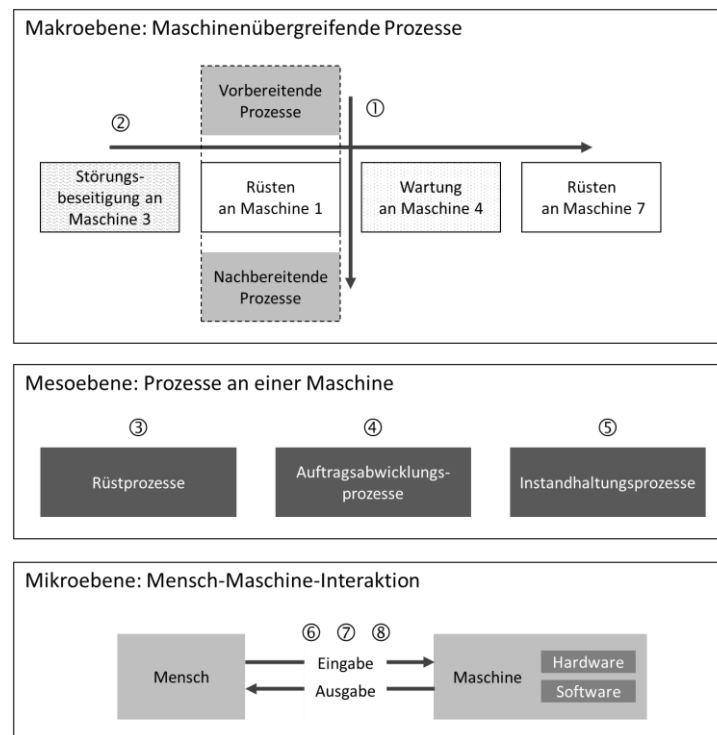
Nr.	Studie	Untersuchte Maschinen
1	Ergonomische Gestaltung von Arbeitsprozessen in der additiven Fertigung	Zwei Lasersinteranlagen
2	Ergonomische Gestaltung von grafischen Bedienelementen an Produktionsmaschinen	Je eine Lasersinteranlage, Drehmaschine, Kunststoffspritzgießmaschine, Laserbearbeitungsanlage, Kantenanleimmaschine
3	Usability-Studie für einen Hersteller von Holzbearbeitungsmaschinen	Eine Kantenanleimmaschine
4	Identifikation von Industrie 4.0-Potentialen für einen Hersteller von Dreh- und Fräsmaschinen	Eine Drehmaschine, eine Fräsmaschine

In Anlehnung an den menschenzentrierten Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210:2011 wurden in den Studien zunächst Analysen zum jeweiligen Nutzungskontext der jeweiligen Produktionsmaschine vorgenommen. Daraufhin wurden Usability-Tests zur Analyse der Gebrauchstauglichkeit des bestehenden Systems durchgeführt. Abschließend wurden die Analyseergebnisse und mögliche Verbesserungsmaßnahmen in Workshops diskutiert. Die Methodik wird in Riediger et al. 2014 / Riediger et al. 2015 beschrieben.

## 3. Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen im Kontext der Industrie 4.0

In den Ergebnissen der aufgeführten Studien und weiteren Praxisbeispielen aus Literaturrecherchen wurden insgesamt acht Trends bzw. Handlungsfelder einer er-

gonomischen und wirtschaftlichen Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen im Kontext der Industrie 4.0 identifiziert. Diese lassen sich in ein Modell einordnen, das drei Ebenen einer Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen beschreibt (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Ebenenmodell zur Einordnung von Trends und Handlungsfeldern in der Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen im Kontext der Industrie 4.0

### 3.1 Makroebene: Maschinenübergreifende Prozesse

#### (1) Schaffung einer durchgängigen Prozesskette

In der ersten Studie (Tabelle 1) konnten hohe Aufwände durch manuelle Vor- und Nacharbeiten sowie durch Konvertierungsfehler bei der Umwandlung der CAD-Daten beobachtet werden. Eine durchgängige (digitale) Prozesskette vom Produktmodell bis zum fertigen Produkt mithilfe vereinfachter Benutzungsschnittstellen bietet im Kontext einer angestrebten Vernetzung der Systeme ein wirtschaftliches und ergonomisches Verbesserungspotential. Insbesondere Maschinen der additiven Fertigung bieten eine hervorragende Grundlage, Daten aus der Produktentwicklung für eine direkte, dezentrale, individuelle und sogar werkzeuglose Fertigung von Produkten zu nutzen.

#### (2) Vernetzung von Bediensystemen

Die Vision einer Vernetzung von Cyber-Physical Systems im Zukunftsbild der Smart Factory (Kagermann et al. 2012) bezieht sich u. a. auch auf die Schaffung optimierter Planungs- und Steuerungssysteme. Einzelne Maschinenbediensysteme sind daher zu vernetzen, um dem Benutzer bei Mehrmaschinenbedienung eine Vorausschau über die nächsten Tätigkeiten an den jeweiligen Maschinen zu geben und ihn so möglichst effizient durch die anstehenden Schritte zu leiten. Die intelligente Aufgabenplanung ermöglicht beispielsweise das Nutzen von freien Zeiträumen für Wartungstätigkeiten. Zudem kann sie den Benutzer bei kurzfristigen Störungen in der

richtigen Priorisierung der Aufgaben unterstützen. So genannte »Smart Devices« (Wearables) können dazu eingesetzt werden, dass der Benutzer stets über den aktuellen Zustand der von ihm bedienten Maschinen informiert ist.

### 3.2 Mesoebene: Prozesse an einer Maschine

#### (3) Selbstkonfiguration und digitale Unterstützungsfunktionen im Rahmen von Rüstprozessen

Maschinen können über zusätzliche Funktionen Umgebungsfaktoren erfassen und verarbeiten. So können Zustände analysiert und Einstellungen ohne menschlichen Eingriff selbständig durch die Maschinen durchgeführt werden (Hinrichsen et al. 2015).

Typische Rüsttätigkeiten des Bedieners – wie z. B. das Vermessen von Werkstück und Werkzeugen in Multitasking-Maschinen – können so vereinfacht oder gänzlich durch Maschinen übernommen werden (vgl. Siemens AG 2015).

Die in Studie 4 betrachtete Bedienoberfläche bot die Möglichkeit, Bilder von Aufspannungen für einzelne Aufträge digital anzuzeigen. In einer Weiterentwicklungsstufe können Bediener darüber hinaus über eine visualisierte Arbeitsschrittfolge für spezifische Aufträge schrittweise durch den Rüstprozess geführt werden. Mittels technologischer Lösungen aus dem Bereich der »Augmented Reality« können komplexe Arbeitsschritte dargestellt und so zudem Rüstzeiten und Fehlerquoten reduziert werden (vgl. RE'FLEKT GmbH 2015). Hinsichtlich eines zu fertigenden Produktes fehlerhaft durchgeführte Handlungen oder vorgenommene Einstellungen (z. B. falsches Werkzeug oder falsche Parametrierung) können dabei durch Maschinen erfasst und an den Bediener rückgemeldet werden.

#### (4) Prozessorientierte Weiterentwicklung der Auftragsabwicklungsprozesse

Bediensysteme werden dahingehend weiterentwickelt, dass die Benutzerführung sich in hohem Maße an der Aufgabe bzw. am Prozess orientiert, die Systemkomplexität möglichst vor dem Benutzer verborgen wird und der Benutzer in den einzelnen Prozessen angeleitet wird. Der Benutzer kann beispielsweise bei der Auftragserstellung grafische Auswahlmöglichkeiten erhalten, anhand derer er ein Endprodukt beschreibt, woraufhin die Maschine selbstständig die erforderlichen Parametereinstellungen vornimmt (vgl. it's OWL Clustermanagement GmbH 2015). Einen weiteren Beitrag können Bediensysteme im Bereich der Störungsbeseitigung leisten, indem Hilfefunktionen so angeboten werden, dass der Bediener das Problem ohne weitere Kenntnisse möglichst eigenständig lösen kann. So beinhaltete die in Studie 3 untersuchte Kantenanleimmaschine einen Lösungsassistenten, den im Usability-Test alle Probanden ohne Vorerfahrung bedienen konnten. Zusätzlich können intelligente Sensoren zu einer Störungsvermeidung beitragen, indem künftige Maschinenausfälle vorhergesagt werden und über eine vorbeugende Instandhaltung vermieden werden können.

#### (5) Weiterentwicklung der Instandhaltungsprozesse über Selbstdiagnose und Assistenzfunktionen

Die in der vierten Studie betrachtete Maschinenbedienung enthielt fortschrittliche Merkmale in Bezug auf digitale Funktionen und einen Online-Support zur Unterstützung von Instandhaltungsprozessen. Im Rahmen der Studie wurde durch die Bediener allerdings bemängelt, dass die Informationen hinsichtlich der durchzuführenden Wartung nur in unzureichender Form vorlagen.

Maschinenherstellern wird empfohlen, Selbstdiagnose- und Assistenzsysteme für Instandhaltungsprozesse zu entwickeln, die Benutzer sensorisch initiiert eigenständig auf konkrete erforderliche Instandhaltungsmaßnahmen hinweisen und sie durch detaillierte Darstellungen und Quittierfunktionen im Bedienfeld sowie ergänzende farbliche Kennzeichnungen von Wartungsstellen in der Maschine selbst schrittweise durch Instandhaltungsprozesse führen. Der Vorgang kann durch ein mobiles Endgerät oder eine Datenbrille mit zusätzlicher Augmented-Reality-Funktion unterstützt werden, so dass der Bediener auf die am jeweiligen Ort benötigten Informationen zugreifen kann. Über die beschriebenen Unterstützungsfunktionen wird der Handlungsspielraum von Maschinenbedienern dahingehend erweitert, dass einfache Instandhaltungsaufgaben, die typischerweise durch Spezialisten ausgeführt werden, eigenständig durchgeführt werden können.

### 3.3 Mikroebene: Mensch-Maschine-Interaktion

#### (6) Verbesserung der Selbstbeschreibungsfähigkeit von Bediensystemen und Bildzeichen

Studie 2 zeigte, dass hinsichtlich der betrachteten Produktionsmaschinen Verbesserungspotentiale für eine intuitive Bedienung bestanden. Es wurden Schwachstellen in der Selbstbeschreibungsfähigkeit von einzelnen Bildzeichen erkannt und Fehlhandlungen beobachtet, deren Grundursachen auf nicht geeignete Darstellungen von grafischen Symbolen oder ihren Symbolbeschriftungen zurückzuführen waren. Den Bildzeichen kommt im Rahmen einer intuitiv zu gestaltenden Maschinenbedienung eine wichtige Rolle zu. Sie sollten daher im Entwicklungsprozess über Usability-Tests evaluiert werden, um eine hohe Selbstbeschreibungsfähigkeit sicherzustellen. Dabei ist der jeweilige Nutzungskontext in Betracht zu ziehen, um beispielsweise Problemen durch eine geringe Alphabetisierungsquote in Zielländern entgegenzuwirken.

#### (7) Multimodale Interaktion

Die Interaktionsweise zwischen dem Bediener und den innerhalb der Studien betrachteten Maschinen war unimodal oder in Ansätzen bimodal. Hinsichtlich der Interaktionsweise sollte im Rahmen der Entwicklung von Maschinenbediensystemen eine Multimodalität das Ziel sein. Mittels dieser kann für den Bediener gegenüber einer unimodalen Interaktionsweise ein natürlicheres Umfeld für seine Handlungen geschaffen werden, was sich positiv auf seine Arbeitszufriedenheit und -produktivität auswirken kann.

#### (8) Kontextabhängige Informationsdarstellung

In Kapitel 1 wurden gestiegenen Informationsmengen und höhere Steuerungsaufwände durch die zunehmende Vernetzung der Bestandteile eines Arbeitssystems beschrieben. Ergebnisse im Rahmen von Studie 3 waren unter anderem, dass existente Funktionen durch Bediener nicht erkannt wurden und umgekehrt über unbelegte Funktionstasten nicht existente Funktionen suggeriert und vom Bediener erwartet wurden. Eine für den Bediener übersichtliche und effiziente Prozessgestaltung zur Abwicklung von Produktionsaufträgen kann durch kontextabhängige Informationsdarstellungen erzielt werden. Ansätze hierzu sind beispielsweise das Verbergen der Systemkomplexität über eine Reduzierung von Eingabeparametern, die situationsangepasste Darstellung von möglichen Funktionen und der Einsatz von Augmented-Reality-Anwendungen.

## 4. Kritische Würdigung und Ausblick

Die aufgezeigten Trends und Handlungsfelder können einen Beitrag für die Entwicklung zweckmäßiger und ganzheitlicher Maschinenbediensysteme im Kontext der Industrie 4.0 darstellen. Das Ebenenmodell liefert dazu eine Übersicht von Ansätzen, die Maschinenhersteller für die Überprüfung und Weiterentwicklung eigener Maschinenbediensysteme nutzen können.

Hinsichtlich der gewählten induktiven Vorgehensweise kann kritisch angemerkt werden, dass die empirische Basis zur Ableitung von allgemeinen Trends und Handlungsfeldern klein ist. Es wurde lediglich eine geringe Anzahl von Studien betrachtet und eine geringe Anzahl von Experten befragt. Es wird daher empfohlen, weitere Untersuchungen durchzuführen, um die Stichhaltigkeit der Aussagen zu überprüfen und sie entsprechend zu untermauern oder weiterzuentwickeln.

In einem weiterführenden Beitrag könnte darüber hinaus betrachtet werden, wie sich die abgeleiteten Trends und Handlungsfelder im Rahmen der Weiterentwicklung von Maschinenbediensystemen auf den Menschen und die Arbeit auswirken.

## 5. Literatur

- Brecher C, Kolster D, Herfs W (2011) Innovative Benutzerschnittstellen für die Bedienpanels von Werkzeugmaschinen. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 07-08:553-556.
- Hinrichsen S & Jasperneite J (2013) Industrie 4.0 – Begriff, Stand der Umsetzung und kritische Würdigung. In: Betriebspraxis & Arbeitsforschung. 216 (2013) 2, S. 45 - 47.
- Hinrichsen S, Riediger D, Adrian B (2015) Ergonomische Gestaltung von Produktionsmaschinen im Kontext der Industrie 4.0. In: Betriebspraxis & Arbeitsforschung. (2015) 224, S. 24 - 29.
- it's OWL Clustermanagement GmbH (2015): Projektvorstellung Transferprojekt itsowl-TT-IPARA, verfügbar unter: [http://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Veranstaltungen/2015/Transfertag/it\\_s\\_OWL\\_Transferprojekt\\_Session\\_4\\_Brandt\\_Kantentechnik\\_20150818.pdf](http://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Veranstaltungen/2015/Transfertag/it_s_OWL_Transferprojekt_Session_4_Brandt_Kantentechnik_20150818.pdf) [08.12.2015]
- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (2012) Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern - Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0., 2012, verfügbar unter: [http://www.hightech-strategie.de/\\_files/industrie\\_4\\_0\\_umsetzungsempfehlungen.pdf](http://www.hightech-strategie.de/_files/industrie_4_0_umsetzungsempfehlungen.pdf) [17.03.2013]
- Levchuk I, Schäfer A, Lang K-H, Gebhardt H, Klussmann A (2012) Needs of ergonomic design at control units in production industries. In: Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation, Volume 41 2012, Supplement 1. Amsterdam: IOS Press, S. 1594 - 1598.
- RE'FLEKT GmbH (2015): Augmented Reality Plattform, verfügbar unter: <http://www.reflekt.com/de/produkte/157-augmented-reality-software-plattform> [07.12.2015]
- Riediger D, Hinrichsen S, Villmer F-J (2014): Ergonomische Gestaltung von Arbeitsprozessen in der additiven Fertigung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. Bericht zum 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) vom 12. - 14. März 2014 in München, Dortmund: GfA-Press, S. 94 - 96.
- Riediger D, Hinrichsen S, Schlee A (2015): Ergonomische Gestaltung von grafischen Bedienelementen an Produktionsmaschinen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Verantwortung für die Arbeit der Zukunft. Bericht zum 61. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) vom 25. - 27. Februar 2015 in Karlsruhe, Dortmund: GfA-Press.
- Siemens AG (2015): Multitasking leicht gemacht, Neue Bedienoberfläche und leistungsfähigere Hardware für die CNC-Oberklasse, verfügbar unter: [http://www.mav-online.de/trend\\_prozesse\\_intuitiv\\_beherrschen\\_0514/-/article/32571331/41425385/Multitasking-leicht-gemacht/art\\_co\\_INSTANCE\\_0000/maximized/](http://www.mav-online.de/trend_prozesse_intuitiv_beherrschen_0514/-/article/32571331/41425385/Multitasking-leicht-gemacht/art_co_INSTANCE_0000/maximized/) [07.12.2015]