



06

Neue Dimensionen von Mensch-Maschine-Interfaces

Entwicklung eines Scoring-Systems zur Beschreibung und Evaluation von Mensch-Maschine-Interfaces für digitalisierte industrielle Anwendungen

Sebastian Lorenz

Hohe Produktivität und niedrige Kosten sind zentrale Kriterien von Produktionsmaschinen. Doch auch die Qualität und Leistungsfähigkeit der Mensch-Maschine-Schnittstelle (human-machine interface – HMI) gewinnt an Relevanz bei der Gesamtbewertung einer Maschine. Das liegt auch daran, dass der Mensch als Maschinenbediener oder -überwacher in digitalisierten und Hochgeschwindigkeitsproduktionsprozessen schnell zum Flaschenhals der Informationsverarbeitung und damit ein limitierender Faktor für die Produktivität werden kann. Denn mit der Digitalisierung der Produktionssysteme erweitert sich die Menge an verfügbaren Informationen drastisch und neue Komplexfunktionalitäten

wie Assistenzsysteme und dezentrale Überwachungsaufgaben führen zu neuen vielschichtigen Bedienfunktionen. Moderne HMIs müssen dabei nicht nur ergonomisch, sondern auch intuitiv und leistungsfähig sein und mit den richtigen Bedienfunktionen ein reibungsloses und sicheres Bedienen der Maschinen unterstützen.

Displaybasierte Interfaces bieten dabei in Kombination mit konfigurierbaren physischen Bedienelementen viele Gestaltungsmöglichkeiten. Die Potenziale adaptiver und multimodaler Bedienumgebungen, deren Erschließung helfen kann die komplexen Prozesse in hoher Geschwindigkeit zu überwachen und zu steuern, werden

dabei jedoch noch lange nicht ausgeschöpft. Das liegt auch daran, dass die Entwicklung von HMI heute durch die Komplexität der integrierten Maschinen- und informationstechnischen Prozesse aufwendig und teuer ist. Hier fehlt es an Werkzeugen im Entwicklungsprozess, die helfen neue HMI-Lösungen im Bereich adaptiver, assistiver und multimodaler Funktionen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Bediensicherheit einzuschätzen.

Ziel des Promotionsvorhabens ist vor diesem Hintergrund die Entwicklung eines Bewertungsframeworks (Scoring-Systems) für HMI, das eine Abschätzung der Leistungsfähigkeit und Qualität von HMI-Funktionalitäten ermöglicht. Damit sollen Entscheidungssicherheit bei der Entwicklung und die Berücksichtigung verschiedener digitaler/technologischer Lösungsaspekte gefördert werden.

Dieser Beitrag widmet sich der Beschreibung des Forschungsziels und umreißt ein grundsätzliches Vorgehen zur Erarbeitung des HMI-Scoring-Systems. Es werden neue Dimensionen für HMI als Cluster von Lösungsstrategien für die speziellen Herausforderungen an die Gestaltung von HMI in digitalisierten industriellen Anwendungen vorgestellt. Es stellt einen Ansatz für ein darauf basierendes Scoring-System vor. Abschließend werden Forschungsfrage und Hypothesen als Arbeitsstand abgeleitet.

Motivation und Ziele des Promotionsvorhabens

Motivation und Einführung in das Thema

Die Digitalisierung der Produktionssysteme bedeutet vor allem die Nutzbarmachung von Prozessdaten, deren Austausch, Auswertung und Verteilung in vernetzten Prozessketten (Gorecky et al., 2017; Wichmann et al., 2019). Der Einsatz vernetzten und lernenden Systeme ermöglicht, zum Beispiel durch Optimierungsstrategien oder eine besonders feingliedrige Anpassung der Prozessparameter an äußere Faktoren, noch flexiblere, produktivere und effizientere Prozesse (Kagermann, 2017).

Die informationstechnische Umstrukturierung der Produktionsprozess wirkt sich auch auf die Aufgabenprofile der Menschen aus, die zum Beispiel als Bedienende diese Prozesse, Maschinen und Maschinenflotten überwachen und als letzte Entscheidungsinstanz einen reibungslosen Ablauf und die Absicherung des Betriebes verantworten (Gorecky et al., 2014). Damit wird die Arbeit der Zukunft wahrscheinlich immer weniger körperlich anstrengend, jedoch geistig anspruchsvoller, vielfältiger und komplexer (Arnold et al., 2016; Groenefeld et al., 2014).

Für die HMI bedeutet diese Komplexitätssteigerung ein Mehr an zu verarbeitenden und bereitzustellenden Informationen und eine Erweiterung der BediENAufgaben um teilweise gänzlich

neue Inhalte. Die Geschwindigkeit der Datenerhebung zum Beispiel durch Sensoren und deren Verarbeitung durch intelligente und vernetzte IT-Systeme ermöglicht dabei eine Dynamik in der Informationsbereitstellung, die den Bediener mühelos überfordern kann.

Die damit verbundenen Herausforderungen bei der Gestaltung von HMI in industriellen Anwendungen sind zum Beispiel in der Literatur umfassend beschrieben. Auch mögliche *Lösungsstrategien* für diese Herausforderungen werden branchenübergreifend beleuchtet. Beides wird in Abschnitt *Herausforderungen und Lösungsstrategien im Zuge der Digitalisierung von Arbeitsmaschinen für die Mensch-Maschine-Schnittstelle* als Überblick zur Auseinandersetzung mit dem Stand der Wissenschaft behandelt. So können zum Beispiel Assistenzsysteme und adaptive Funktionen, Informationen filtern, Handlungsvorschläge anbieten oder Teilaufgaben der Maschinensteuerung selbstständig übernehmen um die Komplexität und Dynamik beherrschbar zu machen. Darüber, welchen Einfluss solche Funktionen auf die Bedienleistung und -qualität haben, fehlt es an verallgemeinerbarem Wissen. Das begrenzt die Entwicklung oft auf kleinschrittige Weiterentwicklungen und erschwert die Übertragung von Bedienlösungen auf andere Maschinen und Anwendungen. Für eine umfassende Abbildung der Funktions- und Wirkungsweise adaptiver und assistiver HMI-Funktionen fehlt es insbesondere an Use-Cases

und empirischen Untersuchungen, die sich ausreichend tief mit konkreten Bedienkonzepten, deren physisch-digitalen Komponenten, Wirkungsweisen hinsichtlich Qualität und Leistungsfähigkeit des Mensch-Maschine-Systems auseinandersetzen. Damit wird die Auswahl und Gestaltung der geeigneten Form der Informationsbereitstellung eine der zentralen Herausforderungen bei der Entwicklung von HMI (Birgit Vogel-Heuser, 2017). Auch deswegen ist mangelhafte Bedienfreundlichkeit bei neuen technisch innovativen Systemen immer wieder ein Problem (Gandorfer et al., 2017).

Am Ende stehen bei der Entwicklung von HMI begrenzte Ressourcen, einem sehr komplexen Produkt und neuen Herausforderungen gegenüber. Diskutierte Lösungsstrategien, wie intelligente, adaptive und assistive Funktionen finden nur langsam ihren Weg in marktreife Produkte. Das liegt auch daran, dass dessen Leistungsfähigkeit und Qualität von vielen Einflüssen aus und zwischen den ebenfalls komplexen Systemen Mensch und Maschine abhängen. Hier fehlt es an Werkzeugen, die die Komplexität der involvierten Zusammenhänge und Mechanismen ausreichend tief beschreiben und messen können.

Ziel der Arbeit

An dieser Stelle wird untersucht wie solche Funktionen einfacher und zielgerichtet in HMIs umgesetzt werden können. Dazu soll ein Scoring-System, das HMIs und dessen Funktionen

hinsichtlich ihrer Wirkpotenziale bezüglich relevanter Leistungs- und Qualitätsparametern schnell und zuverlässig bewerten kann, entwickelt werden. Es soll den Wissenstransfer zwischen damit evaluierten HMI-Projekten und eine erfahrungsbasierte methodische Entwicklung leistungsfähiger HMIs unterstützen.

Dazu sollen im Rahmen der Arbeit vier Ziele verfolgt werden:

1. **Beschreibung von Wirkungsweisen zwischen Gestaltungsparametern von HMI und konkreten Leistungs- und Qualitätsparametern** – Anhand von Use-Cases und der Analyse von HMI-Funktionen
2. **Ableiten und Aufbau eines Scorings für HMI-Funktionen** – Welches eine Bewertung von adaptiven und assistiven HMI-Funktionen hinsichtlich der Qualität und -Leistungsfähigkeit (z. B. UUX und WL) und Rückschlüsse auf die Art und Weise der HMI-Komponenten (Bedienelemente, Interaktionen) zulässt
3. **Evaluation des Scorings** – Mit existierenden HMI und Vergleich der Bewertungsergebnisse mit denen anderer, elaborierten Messmittel
4. **Ableiten allgemeiner Gestaltungsempfehlungen für HMI-Funktionen und -Komponenten** und Verbesserung des Scoring-Systems als Messmittel zum Beispiel durch definierter Untersuchungssetups oder Testszenarien.

Herausforderungen und Lösungsstrategien im Zuge der Digitalisierung von Arbeitsmaschinen für die Mensch-Maschine-Schnittstelle

Wie HMI in Zukunft technologische Potenziale noch besser nutzen können, um die Fähigkeiten von Mensch und (digitalisierten) Maschinen zu verbinden, wird sowohl in der Forschung als auch in der Produktentwicklung breit diskutiert. Hier zeigen technische Konzepte und Produkte bereits wie inhaltsadaptive, assistive oder multimodale Interaktionskonzepte den Nutzern helfen sich in komplexen Informationsräumen zurecht zu finden. Diese weisen oft eine hohe Kompatibilität im Sinne ihrer Bedienanalogien auf. Auch der Aspekt des Nutzererlebens spielt in nicht-industriellen Branchen bereits eine für die Produktbewertung relevante Rolle. Im Zuge der Automatisierung zeigen besonders Bedienkonzepte aus dem Bereich Human-Robot-Interaction wie bidirektionale Lernkonzepte es dem Mensch-Maschine-System zukünftig erlauben wird sich fortwährend weiterzuentwickeln.

Es wird die Annahme getroffen, dass die Dimensionen *Adaptivität*, *Assistenz*, *Multimodalität*, *Kompatibilität*, *Lernen* und *Arbeitserleben* von HMI in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen werden, um die Interaktion zwischen Mensch und Maschine hinsichtlich relevanter Zielgrößen zu verbessern.

Zielgrößen für die Leistungsfähigkeit und Qualität von HMI (LQ-Kriterien)

Insbesondere in industriellen Anwendungen zählen Produktivität, Effizienz und die Betriebssicherheit eines Systems zu den primären Kriterien. Dabei hat die Bedienung selbst und damit auch die Leistungsfähigkeit der Bedienschnittstelle einen Einfluss auf die Gesamtsystemperformance.

Offensichtlich sollten HMI eine adäquate Interaktion zwischen Mensch und Maschine(n) bereitstellen und dabei den Menschen bei seinen Entscheidungen durch die Bereitstellungen der relevanten Informationen und möglicherweise Handlungsempfehlungen unterstützen (Bálint, 1995). Ziel ist dabei die Sicherstellung eines Betriebes, der durch hohe *Effizienz* und *Zuverlässigkeit* gekennzeichnet ist. Dazu tragen eine fehlerfreie oder fehlerverzeihende und zufriedenstellende Überwachung und Bedienung des Systems bei (Bálint, 1995).

Wie schnell eine bestimmte Aufgabe bearbeitet werden kann (Bedienleistung, (Eichinger et al., 2008)) hat dabei einen direkten Einfluss auf die Produktivität von Produktionssystemen. Darüber hinaus hat die Sicherheit der Bedienung oder *Bediensicherheit* einen Einfluss auf die Betriebssicherheit. Dabei lässt sich hier zwischen zwei Sicherheitsaspekten unterscheiden. Der eine betrifft die Wahrscheinlichkeit die richtige Intervention auf Basis der aktuellen Informationslage zu treffen. Der andere die richtige Ausführung

der geplanten Intervention. Während für zweiteres besonders ergonomische Aspekte und die Gestaltung der Ein- und Ausgabeelemente des HMI ausschlaggebend sind, sind kognitive Mechanismen und Fehler Ursache bei ersterem (Butz & Krüger, 2017; Honig & Oron-Gilad, 2018; Kellerer, 2010).

Daneben beeinflussen auch die Bedienbarkeit (Usability, grundlegend betrachtet in Nielsen, 1994; Sarodnick & Brau, 2006; Spath & Anette Weisbecker, 2013 und angewandt in Haapala et al., 2006, 2006; Villani et al., 2019) und die Bedürfniserfüllung (Diefenbach & Hassenzahl, 2017) und das damit verbundene Produkt-erleben (User Experience (Marcus & Wang, 2019; Sauer et al., 2010)) die Performance des Gesamtsystems.

Insbesondere bei (teil-)automatisierten und assistierten Systemen spielt das Vertrauen der Nutzer in das System eine verstärkte Rolle (Abbass et al., 2016; Dzindolet et al., 2003), da die Verwendung dieser Systeme zum Beispiel auch davon abhängt, ob der Nutzer der Meinung ist, dass das automatisierte System in der Lage ist ihm bei der Erreichung seiner Ziele zu helfen. (Lee & See, 2004; Lee & Seppelt, 2009).

Leistungs-/ Qualitätskriterien	Messgrößen	
Bedienleistung	<i>Time per task, Actions per task, Time per action</i>	–
Bediensicherheit	<i>Mistakes per Time Task success</i>	–
Workload und weitere psychophysiologische Größen	<i>Mental effort, physical, temporal, performance, effort, frustration</i>	<i>(Hart und Staveland 1988)</i>
Bedienbarkeit und Bedienerleben (UUX)	<i>Attractiveness, Perspicuity, Efficiency, Dependability, Stimulation, Originality, Intuitiveness, Verbalisation, Magical Experience, Gut Feeling, Effortlessness</i>	<i>(Brooke 1996; Schrepp et al. 2017)</i>
Vertrauen und Akzeptanz	<i>Noch offen, zeigt sich auch in UUX</i>	–
Lernerfolg/-dauer	<i>Noch offen</i>	–

Tabelle 1: Übersicht über LQ-Kriterien und Beispiele zugeordneter Messgrößen

Herausforderungen für die Mensch-Maschine-Interaktion in digitalisierten Anwendungen

Eine zunehmende Anzahl von Funktionen und Informationen, die zu einer erhöhten Systemkomplexität führen, werden dabei besonders hervorgehoben (Arnold et al., 2016; Bengler et al., 2012; Gorecky et al., 2017; Kagermann, 2017).

Assistenzsysteme unterstützen die Bedienden bei der Aufgabenbewältigung zum Beispiel durch die Automatisierung bestimmter Bedienungsaufgaben oder ein Filtern der Informationen. Das kann dazu führen, dass bei der Bedienung das Situationsbewusstsein sinkt (Wickens et al., 2015), eine Intransparenz der assistierten Entscheidungsprozesse die Gefahr eines Kontrollverlustes birgt (Groenefeld et al., 2014) und langfristig eine Entfremdung vom ursprünglichen Jobprofil geschieht (Groenefeld et al., 2014; Lee & Seppelt 2009; Carsten und Martens, 2019).

Die Veränderung der Arbeitsprofile beschreiben (Groenefeld et al., 2014; Lee & Seppelt, 2009; Carsten & Martens, 2019; Apt & Wischmann 2017). Sie gehen davon aus, dass sich das Aufgabenspektrum in industriellen Anwendungen zunehmend durch überwachende Tätigkeiten gekennzeichnet sein wird. Daneben kann die Automatisierung zu einer Polarisierung der Qualifikationsprofile in hochqualifizierte Prozessgestalter (Automatisierungsszenario) und niedrigqualifizierte Ausfühler (Werkzeugszenario).

Dazu gehören auch Herausforderungen im Bereich der Qualifizierung und des Lernens neuer Funktionen (Arnold et al., 2016; Gorecky et al., 2017; Kagermann, 2017).

Lösungsstrategien

Um der steigenden Komplexität (K1) der Interfaces zu begegnen, werden adaptive Interface vorgeschlagen, die Informationen dynamisch filtern, um entweder situations- und/oder nutzerbezogen die Menge an Informationen zu reduzieren (Antwarg et al., 2013; Gorecky et al., 2017; Krzysztof Z. Gajos et al., 2006; Loskyll, 2013; Vogel-Heuser, 2017). Kagermann, Vogel-Heuser und Antwarg diskutieren zudem Assistenzsysteme als Lösungsstrategie, welche dem Nutzer helfen, die Informationen richtig einzuordnen, Prozesse richtig zu verstehen. (Antwarg et al., 2013; Kagermann, 2017; Vogel-Heuser, 2017). Außerdem können solche Systeme bei der Auswahl und Ausführung der richtigen Bedienaktion unterstützen. Die große Rolle, die das Thema Qualifizierung von Mitarbeitern (K2) bei der Arbeit mit digitalisierten und Cyberphysischen Produktionssystemen spielt wird in (Apt & Wischmann, 2017; Eckert et al., 2019) beleuchtet.

<i>Herausforderung</i>	<i>Kategorisierung</i>
Komplexitätssteigerung des Systems und der zu verarbeitenden Informationen (Kagermann 2017; Gorecky et al. 2017)	K1: Komplexität
Entfremdung vom ursprünglichen Jobprofil, Veränderung des Aufgabenprofils (Groenefeld et al. 2014; Lee und Seppelt 2009; Carsten und Martens 2019)	K2: Qualifizierung
Sinkendes Situationsbewusstsein durch Automatisierung (Wickens et al. 2015) Gefahr der Intransparenz und Kontrollverlust (Groenefeld et al. 2014)	K3: Situationsbewusstsein
Intransparente automatisierte Prozesse und Simulationen (Eckert et al. 2019)	K4: Vertrauen
Angestellte müssen verstärkt Kompetenzen wie flexibles Problemlösen, kreatives Problemlösen und strategische Planung aufbauen (Gorecky et al. 2017)	K2: Qualifizierung
Kürzere Einlernzeiten, häufigerer Lern aufwände (Kagermann 2017)	K2: Qualifizierung
Polarisierung der Qualifizierung (Arnold et al. 2016)	K2: Qualifizierung
Weiterhin hohes Geschwindigkeitslevel, in der neue Technologien, Funktionen und Systeme in HMI integriert werden (Cannan und Hu)	K2: Qualifizierung
Assistenzsysteme Bewegung die Gefahr, durch das Bereitstellen irrelevanter Funktionen oder das Ausblenden relevanter Informationen die Systemleistung zu verringern (Antwarg et al. 2013)	K4: Vertrauen

Tabelle 2: Übersicht über identifizierte Herausforderungen für die Gestaltung von HMI im Kontext digitalisierter Produktionsanwendungen

	<i>Lösungsansätze</i>	<i>Dimension</i>
L01	Neue Bedienlösungen mithilfe von standardisierten und Plattform-unabhängigen Interfaces einbinden (Gorecky et al. 2017; Weyer et al. 2015; Eckert et al. 2019; Groenefeld et al. 2014)	<i>Standardisierung</i>
L02	“Robots, AI systems, augmented, virtual and mixed reality (AR, VR, MR) will make it possible to move learning methods to new heights” (Eckert et al. 2019)	<i>Lernen</i>
L03	“Modelling & Simulation blending with AI in synthesis and analysis and becoming gamified” (Eckert et al. 2019)	<i>Lernen</i>
L04	Individualisierte Tutorensysteme für schnelle Einarbeitung und inklusive Arbeitsumgebungen (Apt und Wischmann 2017)	<i>Lernen</i>
L05	Selektive Bereitstellung von Informationen (Birgit Vogel-Heuser 2017)	<i>Adaptive Systeme</i>
L06	Berücksichtigung der Bedürfnisse und Fähigkeiten der Nutzer (Birgit Vogel-Heuser 2017)	<i>Adaptivität, UX</i>
L07	Kontextsensitive Systeme für situationsbezogenes Verhalten des HMI (Loskyll 2013) und Informationsfilterung (Gorecky et al. 2017)	<i>Adaptivität</i>
L08	Zur Bewältigung der steigenden Komplexität wird der Mitarbeiter jedoch durch eine neue Generation mobiler, interaktiver Assistenz-systeme für Bedienung, Installation, Optimierung und Wartung der CPS-Komponenten entlastet (Kagermann 2017)	<i>Assistenz</i>
L09	Zusammenhänge darstellen (Birgit Vogel-Heuser 2017)	<i>Assistenz</i>
L10	“Providing adaptive help during interaction with the system can be used to assist users in accomplishing their tasks” (Antwarg et al. 2013)	<i>Adaptivität, Assistenz</i>

Tabelle 3: (Teil 1) Übersicht über diskutierte Lösungsansätze für die Gestaltung von HMI im Kontext digitalisierter Produktionsanwendungen

	<i>Lösungsansätze</i>	<i>Dimension</i>
L11	"Assistance can be provided to help users perform or complete tasks, alert users as to the availability of features, as well as increase their general application knowledge" (Antwarg et al. 2013).	<i>Assistenz</i>
L12	The study showed that users appreciated having the personalized interface and that they used it more than the factory supplied version. (Krzysztof Z. Gajos et al. 2006)	<i>Adaptivität</i>
L13	Bereitstellung einfach verständlicher Visualisierungen des Prozesse und Prozessdaten (Gorecky et al. 2014; Gorecky et al. 2017)	<i>Assistenz, Lernen</i>
L14	Erweitern der visuellen Informationsbereitstellung um akustische und taktile Interaktionen (Winner 2012)	<i>Multimodalität</i>

Tabelle 3: (Teil 2) Übersicht über diskutierte Lösungsansätze für die Gestaltung von HMI im Kontext digitalisierter Produktionsanwendungen

*Ableitung der Dimensionen
und Ansätze für die Überführung in
ein Scoring-System – Zusammenfassung
der Lösungsstrategien in den
neuen Dimensionen von HMI*

Mit der begonnenen Literaturanalyse konnten die vorgeschlagenen Lösungsansätze *Assistenz, Adaptivität, Lernen, Multimodalität, Lernen, Kompatibilität und Arbeitserleben* erst einmal bestätigt werden. Diese sechs unterschiedlichen Aspekte spannen einen Lösungsraum auf, deren Skalen im folgenden *Dimensionen von HMI* genannt werden. Diese sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Eine Einordnung von HMI in diesen Lösungsraum soll am Ende zeigen, wie gut diese neuen Dimensionen für eine Verbesserung der Bedienung genutzt werden. Für eine Vergleichbarkeit der Einordnung verschiedener HMI muss diese zuverlässige und nachvollziehbar sein. Dazu gilt es folgende Fragen im weiteren Vorgehen zu beantworten:

- Mit welchen Parameter lassen sich die einzelnen Dimensionen beschreiben? Diese müssen einerseits aus einer Beschreibung der HMI-Funktionen ermittelbar sein und sich andererseits mit Messmethoden in Abhängigkeit zu definierten leistungs- und Qualitätsparametern setzen lassen.
- Und dazu: Wie können diese Dimensionen in ihrer Beschreibung so vertieft werden, dass sich HMI-Funktionen als System von Bedienelementen, Bedienfunktionen und Interaktionen darin abbilden lassen?

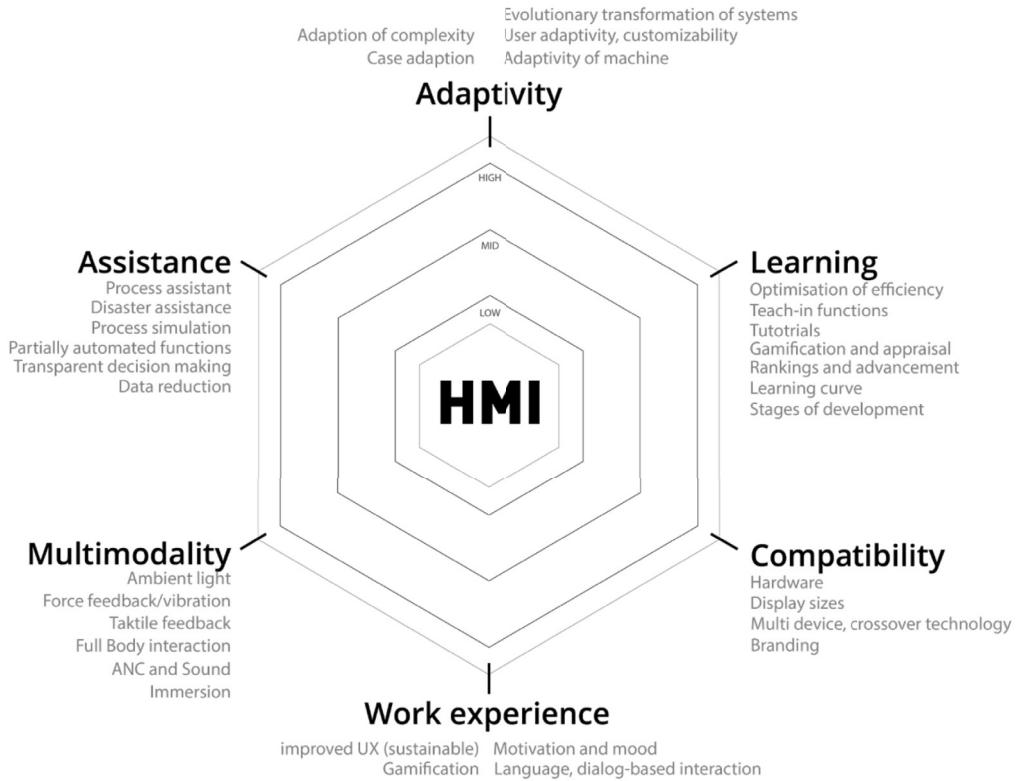


Abb. 1: Zusammenfassung der Lösungsstrategien in den neuen Dimensionen von HMI

Analyse der Dimensionen mithilfe von Use-Cases

Basierend auf der Analyse der Lösungsstrategien und deren Zusammenfassung in den neuen Dimensionen von HMI sollen die folgenden Use-Cases dazu dienen relevante Parameter der Bedienelemente und der Interaktion innerhalb der relevanten HMI-Dimensionen (in Klammern) zu identifizieren:

1. **Die Anpassung des HMIs an spezifische Attribute des Nutzers durch:**
 - 1.1. Eine Anpassung an dessen Fähigkeiten (gelernte Bedienparadigmen/Mentale Modelle), dessen Expertenlevel (vorhandenes Wissen zu Prozess und Maschinenbedienung) durch Einstellen des Umfangs und der Art und Weise der bereitgestellten Informationen und Bedienoptionen und die Einbindung von Handlungshinweisen, um die Einlernzeit zu verkürzen und die physische und kognitive Belastung zu optimieren (Über- oder Unterforderung vermeiden) (Adaptivität, Arbeitserleben)
 - 1.2. Eine Anpassung an dessen Basis- und situativen Bedürfniszustand durch Bereitstellung von relevanten Informationen (Feedback), um die Usability und User Experience und damit die Leistungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit zu erhöhen (Adaptivität)
 - 1.3. Eine Anpassung an dessen physische und kognitive Kapazitäten durch Regulierung der Menge und Form der Informationen

und Bedienaufgaben, um eine Über- oder Unterforderung zu vermeiden (Adaptivität)

2. **Die Unterstützung des Nutzers durch:**
 - 2.1. Eine Bereitstellung von Handlungsempfehlungen und situativ gefilterten Prozessinformationen, während des Normalbetriebes und in Ausnahmesituationen (Havarie, Ausfall automatischer Funktionen) für eine Reduzierung der Bedienfehler (Assistenz, Arbeitserleben, Lernen)
3. **Verbesserung des Systemverständnisses des Nutzers durch:**
 - 3.1. Eine Bereitstellung zusätzlichen Wissens durch Tutorials und Tooltips für eine Verkürzung der Einlernzeit, einen schnelleren Aufbau von Expertenwissen zu Prozess und Bedienung und eine Verbesserte Anpassung an neue Funktionalitäten (Lernen)
4. **Verbesserung der Fähigkeiten der Maschine durch:**
 - 4.1. Eine Einbindung von Tech-In-Funktionen zur Integration des Prozesswissens des Nutzers in Assistenz und Automatikfunktionen für eine Steigerung der Produktivität (Lernen, Assistenz, Arbeitserleben)
5. **Einbeziehung verschiedener physischer Wahrnehmungs- und Interaktionskanäle durch:**
 - 5.1. Eine Bereitstellung von Informationen (Prozess- und Interaktionsfeedback) durch haptisches Feedback (Vibrationen, Einstellwiderstände bei physischen Bedienelementen) und Ambient-Light-Funktionen für

eine Informationsreduzierung auf Display-interfaces und Reduzierung des Workloads (Multimodalität)

- 5.2. Eine Integration von Sprachinterfaces und weiterer Bedienoptionen wie gestenbasierte oder Körpergetragene Bedienelemente, um das Situationsbewusstsein in assistierten/automatisierten Manövern und eine Verbesserung des Workloads zu unterstützen (Multimodalität)
- 5.3. Eine Integration dynamischer interaktiver Informationsvisualisierungen in Form objektbasierter Animationen für eine leichtere Verständlichkeit und schnellere Informationsaufnahme und Reduktion der Reaktions- und Bedienzeit (Multimodalität, Adaptivität)
6. **Standardisierung von Bedienlogiken durch:**
 - 6.1. Die Berücksichtigung vorhandener mentaler Modelle bei der Gestaltung von Bedienumgebungen und Funktionen (Layout, Funktionsweisen, Bedienparadigmen, Feedback) um Einlern- und Anpassungswände sowie Fehlbedienungen zu reduzieren (Kompatibilität)
 7. **Förderung eines positiven Bedienerlebens durch:**
 - 7.1. Die Integration von Gamification-Elementen bei der Aufgabenbewältigung zum Beispiel durch Bereitstellung eines Ergebnisscorings oder das Sammeln von Erfahrungspunkten mit voranschreitender

Bedienerfahrung für eine Steigerung von Arbeitsmotivation und Bedienerleben (Arbeitserleben, Lernen)

Schritt 1: Grundlegende Beschreibung von HMI – Das Mensch-Maschine-Anwendungs-System (MMAS-Framework)

Mit der Analyse von HMI-Funktionen innerhalb der Use-Cases hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer Funktionsweise soll ein Beschreibungsframework aufgebaut werden, das eine bestimmte Verallgemeinerbarkeit zulässt. Dazu soll für die Beschreibung eine Systematik verwendet werden, die die Komplexität des *Gesamtsystems aus Mensch, Maschine und Anwendung* (MMA) in erforderlicher Tiefe und geeigneter Abstraktion abbildet. Das Framework soll dazu vorhandene Beschreibungssystematiken der drei Systeme Mensch, Maschine und Anwendung sowie bekannte Wirkmechanismen und Zusammenhänge zusammenzutragen. Abbildung 2 zeigt eine prototypische Version der Beschreibungssystematik (MMAS). Es basiert auf den Modellen von Bruder, Abendroth und Othersen (Bruder & Didier, 2009/2015; Othersen, 2016) und ergänzt zunächst den Aspekt des Anwendungskontextes um dessen Einfluss auf die HMI Rechnung zu tragen (Bálint, 1995; Goubali et al., 2019; Hoc, 2000).

Mit der Analyse der Use-Cases sollen erweiterte Komponenten, Funktionen, Zusammenhänge und Interaktion als auch die Zielgrößen

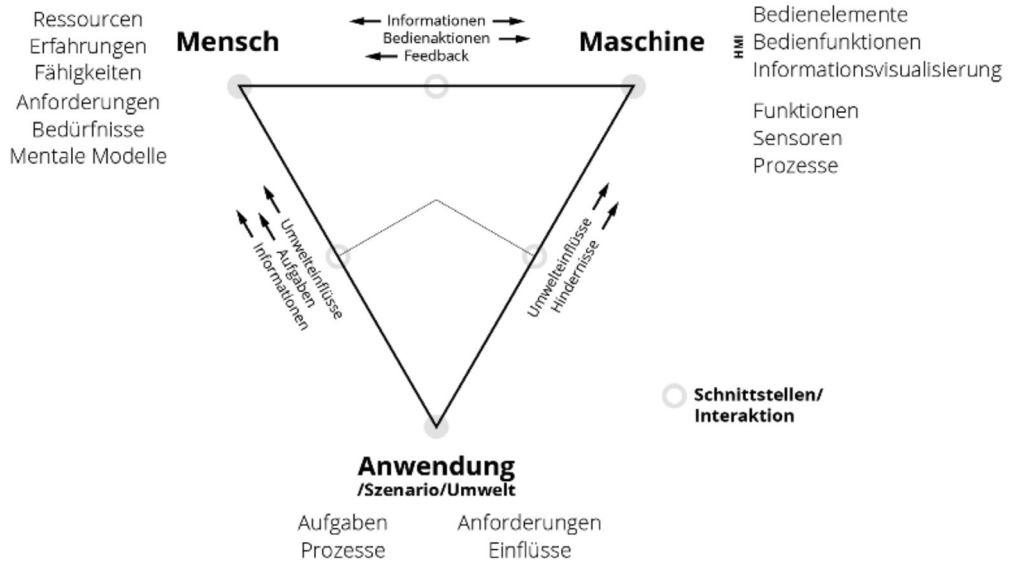


Abb. 2: MMAS-Darstellung

Das MMAS als Grundlage für eine Beschreibung der drei HMI-Systemkomponenten (Mensch, Maschine und Anwendung), deren Attribute und Subsysteme (z. B. Bedienelemente, Aufgaben oder Bedürfnisse) und der Interaktion zwischen diesen. Kontext digitalisierter Produktionsanwendungen

so formalisiert und parametrisiert wie möglich abgebildet werden, um eine eindeutige und vergleichbare Beschreibung und Bewertung zu ermöglichen.

Für den Aufbau der Beschreibungssystematik und die Ableitung in ein Scoring-System der neuen HMI-Dimensionen wird folgendes Vorgehen angestrebt:

- Schritt 1: Grundlegende Beschreibung des Aufbaus von HMI durch Zusammentragen vorhandener Modelle als Grundaufbau des Frameworks
- Schritt 2: Erweitern des Frameworks um Komponenten und Zusammenhänge durch die Analyse vorhandener HMI und dem Aufbau ihrer Funktionalitäten
- Schritt 3: Erweiterung um Gestaltungsparameter und weitere Zusammenhänge durch die Analyse konkreter Use-Cases (vgl. Abschnitt 4)
- Schritt 4: Erweiterung um relevante Wirkungszusammenhänge aus der Literatur
- Schritt 5: Erweiterung um messbare Parameter und bestimmen der Abhängigkeit zu den LQ-Kriterien.

Drei mögliche Ausbaustufen, die eine sukzessive Erweiterung des Scorings beschreiben, bilden dabei den Startwert für die Erarbeitung:

- a. Rein deskriptiv – beschreibt nur den Umfang und Aufbau HMI-Funktionalitäten – aber vergleichbar.
- b. Erweiterung der Funktionsbeschreibung um weitere Gestaltungsparameter die eine tendenzielle Aussage über den Einfluss einer einzelnen HMI-Funktionalität auf die LQ-Kriterien erlauben
- c. Kopplung des MMAS-Frameworks an Messszenarien und Mittel, um eine qualitative Bewertung eines HMIs im Rahmen der im MMAS-abbildbaren HMI-Funktionalitäten zu ermöglichen (Herausforderung ist hier eine feine Ergebnisauflösung, die die gemessenen Effekte zu mindestens auf einzelne Funktionalitäten zurückführen lässt und die wechselseitigen Einflüsse der unterschiedlichen Funktionen des HMI-Konzeptes berücksichtigt

Tabelle 4 zeigt eine erste grobe Analyse der Usecases. Sie zeigt anhand hypothetischer HMI-Funktionen welche Beschreibungstiefe zu erwarten ist, um relevante Parameter zu finden.

Use-Case	Dimensionen	LQ-Kriterien
1.1	<i>Adaptivität, Arbeitserleben</i>	<i>Workload</i>
1.2	<i>Adaptivität</i>	<i>UUX</i>
1.3	<i>Adaptivität</i>	<i>Workload</i>
2.1	<i>Adaptivität, Arbeitserleben, Lernen</i>	<i>Bediensicherheit</i>
3.1	<i>Lernen</i>	<i>Lernerfolg/-dauer</i>
4.1	<i>Lernen, Assistenz, Arbeitserleben</i>	<i>Produktivität</i>
5.1	<i>Multimodalität</i>	<i>Workload</i>
5.2	<i>Multimodalität</i>	<i>UUX</i>
5.3	<i>Multimodalität, Adaptivität</i>	<i>Bedienleistung</i>
6.1	<i>Kompatibilität, Adaptivität, Arbeitserleben</i>	<i>Bediensicherheit</i>
7.1	<i>Arbeitserleben, Lernen</i>	<i>UUX</i>

Tabelle 4: Übersicht über die Use-Cases und Zuordnung involvierter Komponenten des MMAS-Frameworks und LQ-Kriterien

Ziel der Arbeit und mögliche Ergebnisse

Für die Erarbeitung eines solchen hier vorgestellten Scoring-Systems für HMI wird die zentrale Forschungsfrage folgendermaßen formuliert:

- Wie lässt sich die Ausnutzung und die Qualität der Ausnutzung, im Sinne einer Verbesserung der Leistungs- und Qualitätsparameter Bedienleistung, Bedienbarkeit, Bedienerleben, und Workload der Dimensionen Assistenz, Adaptivität, Lernen, Multimodalität, Kompatibilität und Arbeitserleben mit einem allgemeingültigem Beschreibungs- und Messsystem für HMI-Funktionen vergleichbar bewerten?

Grundlage dafür bilden die folgenden (Arbeits-) Hypothesen:

- H1. HMI-Funktionen lassen sich vergleichbar hinsichtlich der Gestaltung der Bedienelemente, Bedienlogiken, ihrer Wechselwirkungen zum Menschen (und seiner Komponenten) und der Anwendung (und ihrer Komponenten) in definierten Parametern beschreiben.
- H2. Aus diesen Parametern lassen sich bestimmbare Beziehungen zu den Leistungskriterien ableiten (ggf. über Zwischenkonstrukte)

- H3. Damit lässt sich aus der Einordnung einer konkreten Funktion in das Parameter-Framework eine Aussage zur Leistungsfähigkeit dieser Funktion (als Teil einer oder mehrerer Dimensionen) im Sinne der LQ-Kriterien ableiten und ein vergleichbarer Score berechnen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Erarbeitung eines HMI-Scoring-Systems soll helfen, HMI-Funktionen systematisch zu beschreiben und hinsichtlich ausgewählter Leistungs- und Qualitätskriterien (LQ-Kriterien) zu bewerten um die Entwicklung von fortschrittlichen HMI in digitalisierten Anwendungen zu erleichtern.

Dazu ist vor allem zu klären, inwieweit sich die Dimensionen als Messgrößen parametrisch beschreiben und messen lassen. Grundlage dafür soll das MMAS-Framework liefern, welches vorhandenen HMI-Beschreibungsmodellen und Zusammenhängen zwischen HMI-Komponenten, deren Gestaltungsparametern und Attributen zusammenführt und gegebenenfalls explorativ durch die Analyse von realen HMI-Funktionen und den vorgestellten Use-Cases erweitert wird.

Für die Evaluation des Frameworks hinsichtlich der Qualität und Aussagekraft des Scorings sollen verschiedene HMI-Funktionalitäten in einer Probandenstudie mit dem entwickelten Scoring

bewertet werden und die Ergebnisse mit denen elaborierter Messwerkzeuge zum Beispiel für: Usability (SUS – Brooke, 1996), User Experience (UEQ – Schrepp et al., 2017, meCUE – Minge & Riedel, 2013; INTUI – Ullrich, 2014) und Workload (NASA-TLX – Hart & Staveland, 1988) verglichen werden.

Kontakt

Dipl.-Ing. Sebastian Lorenz
Professur für Technisches Design
Technische Universität Dresden
Helmholzstraße 10
01069 Dresden
sebastian.lorenz3@tu-dresden.de

A

Abbass, H. A., Petraki, E., Merrick, K., Harvey, J. & Barlow, M. (2016). Trusted Autonomy and Cognitive Cyber Symbiosis: Open Challenges. *Cognitive Computation*, 8(3), 385–408. <https://doi.org/10.1007/s12559-015-9365-5>

Antwarg, L., Lavie, T., Rokach, L., Shapira, B. & Meyer, J. (2013). Highlighting items as means of adaptive assistance. *Behaviour & Information Technology*, 32(8), 761–777. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2011.650710>

Apt, W. & Wischmann, S. (2017). Neue Gestaltungsmöglichkeiten für die Arbeitswelt. In V. Wittpahl (Hg.), *Digitalisierung* (S. 109–117). Springer Berlin Heidelberg.

Arnold, D., Arntz, M., Gregory, T., Steffes, S. & Zierahn, U. (2016). Herausforderungen der Digitalisierung für die Zukunft der Arbeitswelt. *ZEW policy brief*, 16(8).

Bálint, L. (1995). Adaptive human-computer interfaces for man-machine interaction in computer-integrated systems. *Computer integrated manufacturing systems*, 8(2), 133–142.

B

Bengler, K., Zimmermann, M., Bortot, D., Kienle, M. & Damböck, D. (2012). Interaction Principles for Cooperative Human-Machine Systems. *it – Information Technology*, 54(4), 157–164. <https://doi.org/10.1524/itit.2012.0680>

Brooke, J. (1996). SUS: a ,quick and dirty‘ usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, I. L. McClelland & B. Weerdmeester (Hg.), *Usability Evaluation in Industry*. Chapman and Hall/CRC.

Bruder, R. & Didier, M. (2015). Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hg.), *ATZ/MTZ-Fachbuch. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (3. Aufl., S. 313–324). Springer Vieweg. (Erstveröffentlichung 2009)

Butz, A. & Krüger, A. (2017). *Mensch-Maschine- Interaktion*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG. <http://www.oldenbourg-link.de/isbn/9783486587258> <https://doi.org/10.1524/9783486595406>

C

Cannan, J. & Hu, H. (2011). *Human-Machine Interaction (HMI): A Survey* (Technical Report: CES-508).

Carsten, O. & Martens, M. H. (2019). How can humans understand their automated cars? HMI principles, problems and solutions. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 3–20. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0484-0>

D

Diefenbach, S. & Hassenzahl, M. (2017). *Psychologie in der nutzerzentrierten Produktgestaltung: Mensch-Technik-Interaktion-Erlebnis*. Springer.

Dzindolet, M. T., Peterson, S. A., Pomranky, R. A., Pierce, L. G. & Beck, H. P. (2003). The role of trust in automation reliance. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(6), 697–718. [https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00038-7](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00038-7)

E

Eckert, C., Isaksson, O., Hallstedt, S., Malmqvist, J., Öhrwall Rönnbäck, A. & Panarotto, M. (2019). Industry Trends to 2040. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 2121–2128. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.218>

Eichinger, A., Kellerer, J., Sandl, P. & Zimmer, A. (2008). Panoramic Displays-Quantitative Evaluation sensomotorischer Aspekte der Bedienleistung. *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*, 357–368.

G

Gandorfer, M., Schleicher, S., Heuser, S., Pfeiffer, J. & Demmel, M. (2017). *Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen. Ackerbau-technische Lösungen für die Zukunft*, 9.

G

Gorecky, D., Schmitt, M. & Loskyll, M. (2017). Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hg.), *Handbuch Industrie 4.0: Bd. 4: Allgemeine Grundlagen* (2. Aufl., S. 219–236). Springer Vieweg.

Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M. & Zuhlke, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (S. 289–294). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2014.6945523>

- Goubali, O., Girard, P., Guittet, L., Bignon, A., Kesraoui, D., Kesraoui-Mesli, S., Berruet, P., Morio, B. & Boulhic, L. (2019).** End User Designing of Complex Task Models for Complex Control-Command Systems. In International Conference on Human-Computer Interaction. Symposium im Rahmen der Tagung von Springer.
- Groenefeld, J., Krugmann, M. & Willmann, S. (2014).** Bedienergonomie 4.0 – Ein Blick über den Tellerrand. Technische Universität München. UP14, München.
- H**
- Haapala, H. E. S., Pesonen, L. & Nurkka, P. (2006).** Usability as a Challenge in Precision Agriculture – Case Study: an ISOBUS VT. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, 9.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988).** Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In Advances in psychology (Bd. 52, S. 139–183). Elsevier.
- Hoc, J. (2000).** From human-machine interaction to human-machine cooperation. Ergonomics, 43(7), 833–843.
- Honig, S. & Oron-Gilad, T. (2018).** Understanding and Resolving Failures in Human-Robot Interaction: Literature Review and Model Development. Frontiers in psychology, 9, 861. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00861>
- K**
- Kagermann, H. (2017).** Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hg.), Handbuch Industrie 4.0: Bd. 4: Allgemeine Grundlagen (2. Aufl., S. 237–248). Springer Vieweg.
- Kellerer, J. (2010).** Untersuchung zur Auswahl von Eingabeelementen für Großflächendisplays in Flugzeugcockpits [Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt]. BibTeX. <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2172/>
- Krzysztof Z. Gajos, Mary Czerwinski, Desney S. Tan & Daniel S. Weld. (2006).** Exploring the Design Space for Adaptive Graphical User Interfaces. In AVI '06: Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces.
- L**
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004).** Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. Human Factors, 46(1), 31.

Lee, J. D. & Seppelt, B. D. (2009). Human Factors in Automation Design. In S. Y. Nof (Hg.), Springer Handbook of Automation (S. 417–436). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7_25

Loskyll, M. (2013). Entwicklung einer Methodik zur dynamischen kontextbasierten Orchestrierung semantischer Feldgerätefunktionalitäten. Techn. Univ.

M

Marcus, A. & Wang, W. (Hg.). (2019). Lecture Notes in Computer Science. Design, User Experience, and Usability. User Experience in Advanced Technological Environments: 8th International Conference, DUXU 2019, Held as Part of the 21st HCI International Conference, HCII 2019, Orlando, FL, USA, July 26–31, 2019, Proceedings, Part II. Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-23541-3> <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23541-3>

M

Minge, M. & Riedel, L. (2013). meCUE - Ein modularer Fragebogen zur Erfassung des Nutzungserlebens. In S. Boll, S. Maaß & R. Malaka (Hg.), Mensch & Computer – Tagungsbände / Proceedings. Mensch & Computer 2013 – Tagungsband: 13. fachübergreifende Konferenz für interaktive und kooperative Medien (S. 89–99). Oldenbourg.

N

Nielsen, J. (1994). Usability engineering. Morgan kaufmann.

O

Othersen, I. (2016). Vom Fahrer zum Denker und Teilzeitlenker. Springer Fachmedien Wiesbaden. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-15087-7> <https://doi.org/10.1007/978-3-658-15087-7>

S

Sarodnick, F. & Brau, H. (2006). Methoden der Usability Evaluation. Hans Huber.

Sauer, J., Seibel, K. & Rüttinger, B. (2010). The influence of user expertise and prototype fidelity in usability tests. Applied Ergonomics, 41(1), 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.06.003>

Schrepp, M., Hinderks, A. & Thomaschewski, J. (2017). Construction of a Benchmark for the User Experience Questionnaire (UEQ). *IJIMAI*, 4(4), 40–44.

Spath, D. & Anette Weisbecker. (2013). Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen. Fraunhofer Verlag.

U

Ullrich, D. (2014). Intuitive Interaktion: Eine Exploration von Komponenten, Einflussfaktoren und Gestaltungsansätzen aus der Perspektive des Nutzererlebens [Dissertation]. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

V

Villani, V., Lotti, G., Battilani, N. & Fantuzzi, C. (2019). Survey on usability assessment for industrial user interfaces. *IFAC-PapersOnLine*, 52(19), 25–30.

Vogel-Heuser, B. (2017). Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hg.), *Handbuch Industrie 4.0: Bd. 4: Allgemeine Grundlagen* (2. Aufl., S. 33–44). Springer Vieweg.

W

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M. & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multivendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579–584.

Wichmann, R. L., Eisenbart, B. & Gericke, K. (2019). The Direction of Industry: A Literature Review on Industry 4.0. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 2129–2138. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.219>

Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S. & Parasuraman, R. (2015). *Engineering psychology and human performance*. Psychology Press.

Winner, H. (Hg.). (2012). *Praxis ATZ/MTZ-Fachbuch. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort; mit 45 Tabellen* (2. Aufl.). Vieweg + Teubner.

