



## Szenario zur Leitfrage

# "Wie sieht die Mensch-Maschine-Schnittstelle in der industriellen Produktion im Jahr 2030 aus?"

Praxisnetz Digitale Technologien, Juni 2018

### Deutsche Kernkompetenzen: Fertigung und Systemintegration

Im Jahr 2030 sehen sich deutsche Unternehmen einer immer leistungsfähigeren internationalen Konkurrenz für das produzierende Gewerbe gegenüber, auch in den traditionell starken Branchen Anlagen- und Maschinenbau, Fahrzeugbau und in der chemischen Industrie. In diesem Wettbewerb positioniert sich Deutschland immer mehr als „Systemintegrator der Welt“. Dabei ist eine leistungsfähige, integrierte Mensch-Maschine-Schnittstelle ein wichtiger Wettbewerbsfaktor.

Der Anteil der einfachen Massenfertigung ist 2030 deutlich niedriger als noch ein Jahrzehnt zuvor. Sowohl private wie auch gewerbliche Kunden erwarten, dass Produkte, auch in der Massenfertigung, nach ihren Bedarfen individualisiert werden. Dies gelingt um so leichter, je näher die Wertschöpfung beim Kunden erfolgt. Da ein erheblicher Teil der Kunden in Europa ist, trägt dies dazu bei, dass Deutschland auch ein wichtiger Fertigungsstandort mit einer großen Infrastruktur von Bestandsanlagen bleibt.

### Digitale Aufrüstung von Bestandsanlagen in 2030

Die nützliche Lebensdauer der Mechanik einer Bestandsanlage ist in der Regel viel höher als die der Elektronik und Software. Daher erfolgte die Weiterentwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle bis 2030 in vielen Fällen nicht durch den kompletten Austausch

von Anlagen, sondern durch deren digitale Aufrüstung (retrofit), die außerdem eine direkte Einbindung in digitale Ökosysteme, d.h. eine umfassende Systemarchitektur aus Hardware, Software und Services, erlaubt, z.B. um eine bedarfsgerechte, vorausschauende Wartung (predictive maintenance) aufzusetzen. Die Schnittstellen der digital nachgerüsteten Maschinen sind weitgehend einheitlich und präsentieren sich im Bündel. Es gibt keine „App pro Maschine“ als aufwendige Einzelanfertigung. Der Markt für digitale Nachrüstungen ist in 2030 ein attraktives Feld für deutsche Mittelständler geworden.

Die nachträgliche digitale Aufrüstung von Anlagen und Maschinen ist sehr unterschiedlich motiviert und unterscheidet sich von Fall zu Fall in ihrem Umfang. Dabei hängen die Durchdringungsraten sehr von Branche und Anwendung ab. Große Maschinen und Anlagen, insbesondere solche mit hohem mechanischem Anteil, werden ungern schon nach kurzer Zeit ersetzt, so dass eine digitale Aufrüstung der bevorzugte Weg ist. Insgesamt ist sie im Jahr 2030 bei mehr als die Hälfte umgesetzt, es existieren aber weiterhin Altsysteme, die noch nicht aufgerüstet wurden oder gar nicht aufgerüstet werden können.

### Schnittstellen und Nutzerakzeptanz in 2030

Eine typische Mensch-Maschine-Schnittstelle stellt 2030 vielfältige Assistenzfunktionen zur Inbetriebnahme, Führung, Wartung und Reparatur von Maschinen bereit und unterstützt außerdem die Einarbeitung an

neuen Anlagen. Die Bedienoberfläche steht dem Facharbeiter auch als Trainings- und Simulationsgerät zur Verfügung und unterstützt das schrittweise Heranführen an neue Aufgaben und ein flexibles Lernen. Eine Gestensteuerung ist 2030 weit verbreitet, und es steht eine breite Palette von Kommunikationskanälen (optisch, akustisch, haptisch) zur Verfügung.

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle lässt 2030 dem Nutzer einerseits viele Freiheiten bei der Arbeitsorganisation und -durchführung auf der Shopfloor-Ebene und bei der Personalisierung der Schnittstelle. Es haben sich andererseits jedoch gewisse einheitliche Prinzipien der Bedienung etabliert. Dafür existieren inzwischen Standards, die allerdings Spielräume für Nach-, Um- und Aufrüstungen älterer Systeme mit begrenzten Hardware-Ressourcen lassen.

Wo der Nutzer die Schnittstelle für sich personalisiert hat, kann er diese Personalisierung von Maschine zu Maschine "mitnehmen". Hierbei spielen auch am Körper tragbare Endgeräte (Wearables, Smart Glasses etc.) eine Rolle. Die Nutzer erwarten darüber hinaus 2030 noch stärker als früher, dass die Mensch-Maschine-Schnittstellen nicht nur innerhalb ihres Arbeitsumfelds vergleichsweise einheitlich sind, sondern auch, dass sie - unter Berücksichtigung von Effizienz, Ergonomie und Arbeitssicherheit - den Mensch-Maschine-Schnittstellen in ihrem privaten Umfeld ähneln.

Trotz dieser Anpassungen an die Bedürfnisse der Nutzer unterscheidet sich die Akzeptanz für neuartige Lösungen bei der Mensch-Maschine-Schnittstelle in 2030 immer noch erheblich von Nutzergruppe zu Nutzergruppe, beispielsweise je nach sozio-kulturellem Hintergrund, Alter, Geschlecht, Ausbildungsgrad oder grundsätzlicher Einstellung zur Automation. Diese Diversität muss bei der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen weiterhin berücksichtigt werden.

## Anforderungen an die Kompetenz der Arbeitnehmer in 2030

Die Arbeitnehmer im produzierenden Gewerbe müssen 2030 mit einer hohen Komplexität der Systeme und der persönlichen Aufgaben umgehen: Oft sind die Arbeitnehmer vor allem für die Überwachung von Anlagen und die Reaktion auf atypische Situationen zuständig und müssen daher systemisch über den eigenen Arbeitsplatz hinaus denken sowie mit Kollegen aus aller Welt kommunizieren. Dafür sind nicht nur breite technische Kenntnisse notwendig (Mechanik,

Kommunikationstechnik, Informationstechnik), sondern auch ein kaufmännisches Grundverständnis, Sprachkenntnisse und interkulturelle Kompetenzen.

Wo 2030 noch Montagetätigkeiten notwendig sind, unterscheiden sich diese wegen der Individualisierung der Produkte häufig von Teil zu Teil und sind anspruchsvoller als früher. Es besteht Konsens bei den Tarifpartnern, dass die Fähigkeit zur manuellen Tätigkeit wichtig ist und erhalten werden muss. Ausbildung, berufliche Fort- und Weiterbildung und Arbeitsorganisation berücksichtigen dies.

Die meisten Unternehmen setzen auf eine menschenzentrierte Fertigungsorganisation, die dem Arbeitnehmer Handlungsspielräume zur Umsetzung seiner Aufgaben gibt: Um jederzeit ein Interesse an der Arbeit zu schaffen, können Tätigkeit und Anforderungen sowie Automatisierungsgrad variiert werden. Assistenzsysteme können bedarfsweise aus- und angeschaltet bzw. adaptiert werden.

Die Belegschaften im produzierenden Gewerbe haben sich deutlich gewandelt: Der demografische Wandel hat dazu geführt, dass es in Deutschland in 2030 mehr Arbeitnehmer über 55 Jahren als solche unter 34 gibt. Der Anteil der Arbeitnehmer mit Hochschulausbildung erreicht eine Parität mit der dualen Ausbildung. Integraler Bestandteil fast jeder Ausbildung ist inzwischen ein Studium Generale mit kaufmännischen und persönlichkeitsbildenden Anteilen, bei dem u.a. auch Methoden des eigenständigen Erwerbs von Wissen vermittelt werden. Sowohl für die Hochschul- als auch die duale Ausbildung stehen flächendeckend Lernumgebungen und Referenzsysteme auf aktuellem Stand der Technik zur Verfügung.

Um den steigenden Anforderungen an die Arbeitnehmer gerecht zu werden und der Konkurrenz durch die modularisierte akademische Bildung mit ihren aufeinander aufbauenden Bachelor- und Masterstudiengängen zu begegnen, setzt sich die duale Ausbildung 2030 als ein innovativer dualer Ansatz über den gesamten Berufsweg hinweg fort, d.h. auch für die kontinuierliche Aus- und Weiterbildung von Facharbeitern: ein System aus Arbeit und Technikerschule, bei dem Berufs- und Ausbildungsphasen auch im höheren Alter einander abwechseln. Der Gesetzgeber hat die Sozialversicherungen so strukturiert, dass dieser mehrfache Wechsel für Arbeitnehmer nicht mit substantiellen finanziellen Einbußen und Risiken verbunden ist.

## Sicherheitsstandards in 2030

Umfangreiche Richtlinienwerke (u.a. des VDE) beschreiben nach wie vor den Stand der Technik und Good Practice für Maßnahmen der Betriebssicherheit. Grundsätzliche Methoden der Sicherheitstechnik wie die Redundanz kritischer Komponenten oder die passive Sicherheit sind nach wie vor gültig, insbesondere auch für die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Mechanische Fallbacks sind dabei aber nicht mehr das Maß der Dinge: Komplett sensorbasierte Ansätze werden 2030 ebenfalls akzeptiert, so dass beispielsweise Menschen und Roboter ohne mechanische Abgrenzung zusammenarbeiten können.

Mit der zunehmenden Vernetzung von Systemen und der immer weiteren Verbreitung autonomer, künstlich-intelligenter Komponenten kann für Maschinen und Anlagen jedoch nicht immer ein (erkennbar) deterministisches Verhalten mit klarer Verantwortlichkeit vorausgesetzt werden. Von Politik, Wissenschaft und Tarifpartnern wird eine kontroverse Grundsatzdiskussion geführt, ob die daraus (zumindest theoretisch) erwachsenden neuartigen Risiken an der Mensch-Maschine-Schnittstelle als Preis des Fortschritts akzeptiert werden sollen.

In der Praxis haben sich allerdings bereits pragmatische Wege durchgesetzt, um mit dieser Herausforderung umzugehen: Für die Gewährleistung von Sicherheitsstandards werden in praktisch allen Branchen nicht mehr nur die Eigenschaften des Endprodukts betrachtet. Vielmehr kommt der Befolgung von in Regelwerken definierter „good engineering practice“ während des Entwicklungsprozesses eine ebenbürtige Rolle zu. Außerdem verfügen Anlagen und Maschinen über einen „safety kernel“, d.h. eine abgeschottete, von außen nicht änderbare Komponente, die alle für die Betriebssicherheit relevanten Funktionen steuert, Betriebsrisiken in Wahrscheinlichkeit und Impact abschätzt und bei Bedarf proaktiv reagiert. Für den Fall, dass Anlagen und Maschinen zu komplex werden, um im Fehlerfall das Verursacherprinzip mit vertretbarem Aufwand umzusetzen, ist zudem das Prinzip der Haftungsgemeinschaft als ein Lösungsansatz etabliert.

Auch für den aufwendigen Umgang mit der Zertifizierung variantenreicher Produkte gibt es 2030 eine Lösung: Die Zertifizierung von Baukastensystemen ist anerkannte Praxis. Es reicht, neue Komponenten gegenüber dem Baukasten zu zertifizieren. Eine darüber hinausgehende Vererbung von Zertifikaten im Zuge der Systemintegration ist allerdings auch weiterhin nur für ausgewählte Fälle möglich.

Mittlerweile ist auch die ständig neue Konfiguration von Produktionsumgebungen an der Tagesordnung; die einmalige Abnahme von Maschinen- oder Anlagenkonfigurationen gibt es nicht mehr. Vielmehr werden Sicherheitsprozesse und deren dauernde Anwendung im Sinne eines handhabbaren Regelwerkes für gute Mensch-Maschine-Schnittstellen geprüft. Künstliche Intelligenz unterstützt die dafür Verantwortlichen, für die ein neues Berufsbild entstanden ist.

## Systemintegration und Kommunikationsstandards in 2030

Das Engineering von Systemen und damit von deren Mensch-Maschine-Schnittstelle wird zunehmend durch Künstliche Intelligenz unterstützt. Dadurch gelingt es 2030 in vielen Bereichen, dass die Orchestrierung komplexer technischer Systemen automatisch durch „Zusammenstecken und digitales Kennenlernen“ erfolgt („Plug & Play“). Das schließt auch die Orchestrierung der Produktions- und Logistikprozesse sowie der Arbeitsabläufe an der Mensch-Maschine-Schnittstelle ein. Damit ist in vielen Fällen der individuelle Integrationsaufwand gering, auch im Falle einer Rekonfiguration des Systems.

Damit verschwindet allmählich die traditionelle Rolle des Systemintegrators. Für komplexere Systeme übernimmt dieser stattdessen die Rolle des Systemgestalters (engineering consultancy) und des Systembetreuers (maintenance), unterstützt aber auch die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Sowohl im Falle von Plug & Play als auch beim Aufbau komplexer Systeme erfolgt die Vorbereitung der notwendigen Zertifizierungen der Einzelkomponenten und des Gesamtsystems begleitend zum Systemdesign und -aufbau. Dieser Prozess ist weitgehend automatisiert; die Endkontrolle verbleibt jedoch bewusst beim Prüfenieur.

Eine Herausforderung ist 2030 immer noch die IT-Sicherheit. Nach wie vor altern Sicherheitskomponenten wegen des technischen Fortschritts der IT, und nach wie vor gibt es Angreifer, die Schwachstellen suchen und bewusst ausnutzen. Der Systemintegrator ist dafür verantwortlich, die Vielfalt von Angriffsszenarien durch geeignete Resilienzkonzepte in der IT-Sicherheitsarchitektur zu berücksichtigen. Für die operative Phase kann diese Verantwortung jedoch auch beim Betreiber liegen, der dann für Weiterentwicklung und Anpassung sorgen muss.

In der industriellen Kommunikation hat sich das Internet Protocol (IP) als Standardkommunikationsprotokoll bis 2030 bei mehr als der Hälfte der Implementierungen durchgesetzt. Die Einbindung von Altsystemen mit klassischen Feldbussen ist gängige Praxis.

Für bestimmte Sonderanwendungen gibt es weiterhin separate Kommunikationsprotokolle, etwa wenn ein deterministisches Zeitverhalten („harte Echtzeit“) notwendig ist. Auch in den höheren Transport- und Anwendungsschichten werden in 2030 neben IP nach wie vor proprietäre Protokolle genutzt, insbesondere bei sicherheitskritischen Anwendungen. Die damit einhergehenden Lock-in-Effekte werden in der Nutzen- und Sicherheitsabwägung toleriert.

Der Mobilfunk ist in industriellen Anwendungen ein etablierter Kommunikationsweg, der den meisten Anforderungen an Verfügbarkeit und Latenzzeiten genügt. Hierbei kommt zum Tragen, dass der Mensch Reaktionszeiten von mehr als 50 Millisekunden als unnatürlich empfindet. Die Gesamtarchitektur der Kommunikationssysteme - einschließlich der Funkwege - ist aus diesem Grunde so gestaltet, dass dieser Wert an der Mensch-Maschine-Schnittstelle tatsächlich erreicht wird. Der Nachfolger für den Mobilfunkstandard 5G steht kurz vor der Einführung.

## Perspektive der Berufsgenossenschaften in 2030

Sicherheitsaspekte spielen bei der Bedienung von Maschinen und Anlagen eine Schlüsselrolle. Damit hat die Rolle der Berufsgenossenschaften an Bedeutung gewonnen. Ihre grundsätzliche Aufgabe, die Gewährleistung der Sicherheit der Arbeitnehmer, ist unverändert geblieben. Allerdings sind neue fachliche Herausforderungen auf sie zugekommen: Da sich die Berufsgenossenschaften als aktiver Teil einer konstruktiven Fehlerkultur verstehen, sind sie in Betrieb und Auswertung von Black Boxes involviert, die 2030 in sicherheitsrelevanten Bereichen und insbesondere auch an der Mensch-Maschine-Schnittstelle routinemäßig eingesetzt werden. Damit lassen sich im Schadensfall Kausalketten erkennen und Empfehlungen für die zukünftige Vermeidung von Zwischenfällen geben.

Die Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle hinsichtlich Risiken, Bedienbarkeit und Sicherheitsorientierung gehört auch 2030 zu den Standardaufgaben der Berufsgenossenschaften. Im Ergebnis kann das die Einschränkung von Freiheiten bei der individuellen

Gestaltung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle bedeuten – Ablesbarkeit, Verständlichkeit und Wiedererkennbarkeit sind und bleiben wichtige Grundwerte.

Die neuen Formen der virtuellen und kollaborativen Arbeit bis hin zur Distance Collaboration mit Videochat, Datenbrille und anderen Wearables werfen neue Fragestellungen für die Berufsgenossenschaften auf. Dazu gehören z.B. –

- die Gewährleistung der Arbeitssicherheit, wenn relevante Teile der Realumgebung überlagert oder verdeckt werden,
- Regeln, die einer Verwechslung von Menschen und Systemen mit künstlicher Intelligenz in der Kommunikation vorbeugen,
- die Verhinderung der „social sickness“, d.h. der Überbeanspruchung und der Überforderung des Arbeitnehmers durch digitale Kommunikation während der Arbeit

---

## Zur Methodik

Das Szenario entstand im Mai/Juni 2018 im Zusammenwirken von ca. 60 Experten und Anwendern aus dem Praxisnetz Digitale Technologien (Näheres unter <http://tecsummit.vde.com/tsn> ). Die Zusammenarbeit erfolgte online mit der Betrachtung von Einflussfaktoren und Ausprägungen sowie einem darauf aufbauenden Präsenzworkshop mit anschließendem Onlinefeedback. Das Szenario war außerdem Gegenstand eines Workshops des VDE-Innovationskreises im Rahmen der CEBIT in Hannover, der ergänzende Impulse lieferte. Mitgewirkt haben u.a. Thomas Becker, Eric Bunse, Thomas Ebner, Peter Gabriel (Fachverantwortlicher), Jonathan Harth, Iris Hausladen, Patrick Heining, Werner Herfs, Siegfried Idinger, Wolfgang Klebsch, Matthias Künzel, Gerrit Meixner, Ralf Rabätje, Gabriel Zachmann.

### **Dr. Sebastian Hallensleben**

VDE Verband der Elektrotechnik  
Elektronik Informationstechnik e.V.  
Stresemannallee 15  
60596 Frankfurt am Main  
Tel. +49 69 6308-0  
[sebastian.hallensleben@vde.com](mailto:sebastian.hallensleben@vde.com)