



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

WIRTSCHAFT.  
WACHSTUM.  
WOHLSTAND.

AUTONOMIK



Band 3

# Mensch-Technik-Interaktion

Leitfaden für Hersteller und Anwender

## Impressum

### Herausgeber

Bundesministerium für  
Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
Öffentlichkeitsarbeit  
11019 Berlin  
www.bmwi.de

### Stand

Januar 2013

### Druck

Elch Graphics Digitale- und Printmedien GmbH und Co KG

### Gestaltung und Produktion

LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH, Berlin

### Bildnachweis

Titel, Seiten 9, 10, 14, 15, 22: Fotolia.com  
Seiten 13, 24: OFFIS GmbH,  
Seite 17: rorarob  
Seite 18, 25: RoboGasInspector  
Seite 19: smartOR  
Seite 28: LUPO

### Redaktion

Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK:  
Institut für Innovation und Technik  
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin  
LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH, Berlin

### Text

Dipl.-Inform. Eckard Böde (OFFIS)  
Dr. Ernst A. Hartmann (iit)  
Dr. Andreas Lüdtke (OFFIS)  
Dr. Frank Oppenheimer (OFFIS)  
Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting (TU Berlin, FG MMS)  
Dr.-Ing. Anne Wegerich (TU Berlin, FG MMS)



Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie ist mit dem Grundzertifikat zum Audit Beruf & Familie® als familienfreundlicher Arbeitgeber ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der Beruf & Familie gemeinnützige GmbH, einer Initiative der gemeinnützigen Hertie-Stiftung verliehen.

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Nicht zulässig ist die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln.

# Inhaltsverzeichnis

|    |   |    |
|----|---|----|
|    | <b>Vorwort</b> .....  | 5  |
| 1. | <b>Mensch und Technik im Zusammenspiel</b> .....  | 6  |
| 2. | <b>Arbeitsorganisation und Produktgestaltung</b> .....  | 7  |
| 3. | <b>Prozess</b> .....  | 10 |
| 4. | <b>AUTONOMIK und Mensch-Technik-Interaktion</b> .....   | 11 |
| 5. | <b>Empfehlungen</b> .....   | 14 |
| 6. | <b>MTI in AUTONOMIK-Projekten</b> .....   | 17 |
| 7. | <b>Gastbeitrag</b><br>Die Einführung autonomer Systeme aus Sicht der betrieblichen Interessenvertretungen ..... | 22 |
| 8. | <b>Anhang</b><br>Detaillierte Beschreibung der AUTONOMIK-Projekte in Bezug auf Mensch-Technik-Interaktion ..... | 24 |

---

# AUTONOMIK

„Autonomik – Autonome Systeme und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand“ ist ein Technologieprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Bei AUTONOMIK geht es um zukunftsweisende Ansätze für die Entwicklung einer neuen Generation von intelligenten Werkzeugen und Systemen, die eigenständig in der Lage sind, sich via Internet zu vernetzen, Situationen zu erkennen, sich wechselnden Einsatzbedingungen anzupassen und mit Nutzern zu interagieren. Insgesamt haben sich 14 Projektverbände, u. a. zu fahrerlosen Transportsystemen, robotischen Assistenten, autonomen Logistikprozessen und Klinikanwendungen für eine Förderung durch das BMWi qualifiziert. Die Projekte haben eine Laufzeit von durchschnittlich drei Jahren. Rund 100 Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen wirken an den Vorhaben mit. Das Projektbudget beträgt zusammen ca. 110 Mio. Euro. Die Projekte sind: AGILITA, AutASS, AutoBauLog, AutoPnP, DyCoNet, LUPO, marion, RAN, RoboGasInspector, rorarob, SaLsA, simKMU, smartOR, viEMA.

---

# Vorwort

**Prof. Dr.-Ing. Volker Stich**  
Geschäftsführer des Forschungsinstituts für Rationalisierung (FIR) e. V. an der RWTH Aachen

Dieser Leitfaden behandelt Fragestellungen, die beim industriellen Einsatz autonomer Systeme von grundlegender Bedeutung sind und beleuchtet deren Auswirkungen.

Besonders wichtig sind mir dabei zwei zentrale Aspekte: Die Gestaltung der Mensch-Maschine-Kommunikation sowie die Einbettung dieser Interaktion in die industrielle Arbeits- und Betriebsorganisation. Beide Aspekte sind traditionelle Kernbereiche des Industrial Engineering und der Rationalisierungsforschung. Gängigen Vorurteilen zum Trotz war der Begriff ‚Rationalisierung‘ (als ‚Vernünftig-Machen‘ industrieller Strukturen und Prozesse) niemals allein bezogen auf ökonomische und technische Kontexte. Vielmehr kommt dem Menschen und seinem „Wirken und Werken“ im industriellen Gesamtsystem nach wie vor eine besondere Bedeutung zu.

Diese entwickelt und wandelt sich allerdings unter dem Einfluss aktueller Trends: Die fortschreitende Automatisierung der Arbeitswelt, beginnend im Produktions- über den Dienstleistungs- bis hin zum Wissenssektor, forciert Arbeitsformen, die flexibel, interaktiv, orts- und zeitungebunden strukturiert sind.

Die Bevölkerung in den westlichen Industriestaaten altert und schrumpft. Dieser demografische Wandel führt zu einem Mangel an Fachkräften, so dass Menschen künftig länger am Arbeitsleben werden teilnehmen müssen. Wertschöpfungsprozesse verändern sich, Arbeitsteilung wird neu organisiert. Eine hochflexible Produktion individualisierter, digital veredelter Produkte und Dienste folgt nun dem Paradigma einer dezentralen und augmentierten Organisation. Die vierte industrielle Revolution, ‚Industrie 4.0‘ hat begonnen.

Im Kern von Industrie 4.0 stehen autonome Systeme, wie sie auch Gegenstand des Technologieprogramms „Autonomik - Autonome und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sind.

„Autonomik“ steht hierbei jedoch nicht für eine einzelne, neue Technologie. Vielmehr wird in den Projekten das Zusammenspiel bereits existierender Technologien und Konzepte untersucht. Bspw. sollen technische Objekte ‚intelligenter werden‘, indem sie eigenständig verschiedene Analyse-, Verarbeitungs-, Entscheidungs- oder auch Ausführungsvorgänge durchführen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich grundsätzlich die Frage, wie die bisherige Sichtweise auf industrielle Arbeitssysteme in der Produktion zu einer neuen Perspektive auf Wertschöpfungssysteme für Industrie und Dienstleistung hin entwickelt werden kann. Wie verändert sich die Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine durch autonome Systeme? Welche Auswirkungen haben solche Arbeitssysteme auf die Wirtschaftlichkeit und die Innovationsfähigkeit von Unternehmen und die Volkswirtschaft insgesamt? Wie müssen industrielle Arbeitsplätze aussehen, damit Menschen dort über lange Zeit arbeiten können? Welche neuen Herausforderungen stellen sich, wenn aus der „Mensch-Maschine-Interaktion“ eine „Mensch-Maschine-Kooperation“ wird?

Das Team des FIR ist davon überzeugt: die ‚Lernförderlichkeit‘ industrieller Arbeits- und Produktionssysteme während der vierten industriellen Revolution ist ein Schlüsselfaktor für die künftige Innovationsfähigkeit von Unternehmen und kann Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit trotz Demografischen Wandels erhalten. Vor diesem Hintergrund engagieren wir uns seit Jahren im ‚Zeuthener Kreis‘, einem Zusammenschluss verschiedener Einrichtungen, die gemeinsam das ‚Engineering lernförderlicher industrieller Arbeitssysteme‘ (ELIAS) in Forschung und Lehre, betrieblicher Praxis und Öffentlichkeit entwickeln und fördern.

Der hier vorliegende Leitfaden fasst zentrale Aspekte der „Autonomik“ fachlich fundiert und praxisgerecht zusammen. Die Beispiele aus den Projekten illustrieren, wie technologische Entwicklungen zur Beantwortung der oben angerissenen Fragestellungen beitragen können.

Ich wünsche deshalb diesem Leitfaden große Verbreitung und Resonanz, und Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, interessante Denkanstöße und nützliche Hinweise.

# 1. Mensch und Technik im Zusammenspiel

Auto, Strom und iPad: Technik ist aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. In nahezu allen Bereichen unseres Alltags sind wir von Technik umgeben und müssen mit ihr umgehen. Hatten wir es während der 1. Industriellen Revolution noch mit der Erfindung der Dampfmaschine und deren Auswirkungen zu tun, haben die nachfolgenden Leittechnologien wie Energie und Informations- und Kommunikationstechnologien „Geräte“ hervorgebracht, die mit immer mehr Fähigkeiten ausgestattet waren. Seit Mitte der 70er Jahre sprechen wir von der 3. Industriellen Revolution, die durch den Einsatz von IT und Kommunikationstechnik gekennzeichnet ist und in der weiteren – allerdings noch passiven – Automatisierung von Produktionsprozessen mündete. Jetzt gehen wir einen Schritt weiter. Es kommen immer mehr technische Systeme zum Einsatz, die Arbeitszusammenhänge verstehen, Situationen erkennen und interpretieren und sich mit anderen technischen Objekten oder Systemen vernetzen können. Diese zunehmende Autonomie ändert das Zusammenspiel von Mensch und Technik. Es muss neu definiert werden. Autonome Systeme müssen im Sinne der Mensch-Technik-Interaktion (MIT) so gestaltet sein, dass sie

- den Anforderungen des Anwendungsfeldes (Produktion, Logistik, Gesundheitswesen etc.) bestmöglich gerecht werden,
- effektiv und effizient im Sinne der Anwenderunternehmen eingesetzt werden können,
- das körperliche und geistige Leistungsvermögen der mit diesen autonomen Systemen arbeitenden Menschen berücksichtigen, nicht beeinträchtigen und möglichst sogar fördern
- und durch die Kombination dieser Merkmale die Leistungsfähigkeit und Marktposition der Hersteller autonomer Systeme verbessern.

Zu diesem Zweck sind drei Fragenkomplexe zu beantworten:

## 1. Arbeitsorganisation

Wie wird das System in die Arbeitsorganisation integriert? Welche Auswirkungen sind hinsichtlich der Arbeitsinhalte, Aufgaben, Verantwortungsbereiche der Nutzer zu erwarten? Wie würde eine im Sinne der oben genannten Kriterien

## Was ist die 4. Industrielle Revolution?

### Erste Industrielle Revolution

Gekennzeichnet durch Dampf- und Wasserkraft; Einführung mechanischer Produktionsanlagen

### Zweite Industrielle Revolution

Gekennzeichnet durch Energie, Erfindung der Glühlampe; Arbeitsteilige Massenproduktion von Gütern mit Hilfe von elektrischer Energie

### Dritte Industrielle Revolution

Gekennzeichnet durch Elektronik und IT; Weitere passive Automatisierung von Produktionsprozessen

### Vierte Industrielle Revolution

Gekennzeichnet durch smarte, autonome und vernetzte Systeme

en günstige Arbeitsorganisation aussehen – insbesondere im Hinblick auf das körperliche und geistige Leistungsvermögen der Nutzer und der Entwicklung dieses Leistungsvermögens? Ergeben sich daraus Gestaltungsanforderungen an die autonomen Systeme?

## 2. Produkt

Welche Merkmale haben autonome Systeme, die den oben genannten Zielen entsprechen? Welche Gestaltungskriterien können aus der Sicht der Mensch-Technik-Interaktion für autonome Systeme formuliert werden?

## 3. Prozess

Wie sollten Entwicklungs- und Gestaltungsprozesse für solche Systeme aussehen? Welche methodischen Hilfsmittel gibt es, die es erlauben, Fragen der Mensch-Technik-Interaktion im Entwicklungs- und Gestaltungsprozess effektiv und effizient zu adressieren?

## 2. Arbeitsorganisation und Produktgestaltung

Grundsätzlich weiterhin gültig sind grundlegende Konzepte der Arbeitssystemgestaltung wie etwa das MTO-Konzept – die integrative Betrachtung von Mensch, Technik und Organisation im Kontext von Arbeitssystemen oder allgemeinen soziotechnischen Systemen.

Daraus ergeben sich wichtige Aspekte der Gestaltung autonomer Systeme:

- Entscheidend für Leistungs- und Entwicklungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit arbeitender Menschen sind vorrangig die Aufgabenstrukturen, also die Arbeitsinhalte und deren Verteilung und Kombination zwischen Arbeitsplätzen bzw. Menschen. Dies berührt Fragen der Arbeitsorganisation, der Arbeitsteilung Mensch-Mensch. Günstig gestaltete Aufgabenstrukturen zeichnen sich u. a. dadurch aus, dass planende, organisierende, durchführende und kontrollierende Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz integriert sind, und dass ein angemessenes Verhältnis zwischen anspruchssamen Routineaufgaben und anspruchsvolleren, z. B. problemlösenden Aufgaben besteht (vollständige Tätigkeiten). Diese Aspekte der Arbeitsorganisation sind nicht völlig unabhängig von technischen Konzepten zu betrachten.
- Ein logisch folgender Gestaltungsaspekt betrifft die Arbeitsteilung Mensch-Maschine. Ein typischer Fehler der Gestaltung automatisierter (und perspektivisch autonomer) Systeme besteht darin, zunächst alle Arbeitsschritte zu automatisieren, bei

denen dies technisch und wirtschaftlich machbar erscheint. Die verbleibenden ‚Automatisierungslücken‘ definieren dann die menschlichen Aufgaben. Eine solche Aufgabenstruktur wird aber in der Regel nicht den oben genannten Kriterien einer vollständigen Tätigkeit entsprechen.

- Schließlich stellen sich Fragen der Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion im engeren Sinne: Welche Interaktionsformen gibt es (z. B. menügesteuert über Tastatur, direkte Manipulation auf Touchscreen, gestenbasiert, natürliche Sprache etc.)? Wie stehen diese Interaktionsformen in Beziehungen zu Erwartungen und Vorstellungen der Nutzer? Wie können die Nutzer die Interaktionsformen ihren Vorlieben oder auch den Anforderungen unterschiedlicher Aufgaben anpassen? Hierzu bestehen Regelwerke, wie etwa die DIN EN ISO 9241-110.

Abbildung 1 fasst diese Überlegungen als Hierarchie dreier Gestaltungsgegenstände – Organisation, Mensch-Maschine-Funktionsteilung und Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion im engeren Sinne – zusammen.

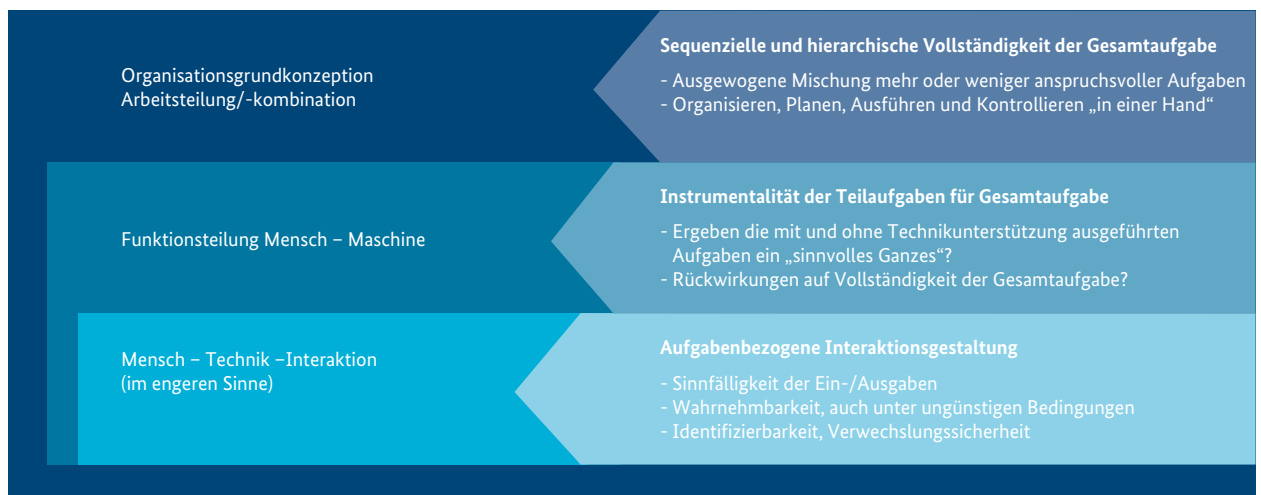


Tabelle 1: Hierarchie der Gestaltungsebenen (nach Hacker, 1987)

## Mensch-Technik-Dialog

Zur MTI im engeren Sinne gehört als zentraler Bereich die Gestaltung des Mensch-Technik-„Dialogs“. Tabelle 2 zeigt die Kriterien der hier einschlägigen Norm.

|  |  |
|--|--|
| <b>1. Aufgabenangemessenheit</b>       | Eine technische Komponente wird als aufgabenangemessen bezeichnet, wenn sie den Benutzer bei der effektiven und effizienten Erledigung seiner Aufgabe unterstützt.<br><br>Aufgabenangemessenheit bedeutet z. B., dass nichtaufgabenrelevante Informationen auf ein Minimum beschränkt bleiben oder dass Eingabe- und Ausgabeformate von Informationen der Benutzeraufgabe angepasst werden können. |
| <b>2. Selbstbeschreibungsfähigkeit</b> | Als selbstbeschreibungsfähig werden technische Komponenten bezeichnet, bei denen jeder einzelne Bedienschnitt dem Benutzer unmittelbar verständlich ist oder bei Bedarf durch eine einfache anforderbare Erläuterung verständlich gemacht werden kann.   |
| <b>3. Steuerbarkeit</b>                | - Kontrollierbarkeit des Ablaufs<br>- zeitlich unabhängige Eingriffsmöglichkeiten<br>- Handlungskorrekturmöglichkeiten   |
| <b>4. Erwartungskonformität</b>        | Als erwartungskonform werden technische Komponenten bezeichnet, die hinsichtlich der verwendeten Begriffe und Bedienweisen konsistent sind und den Erwartungen, dem Wissen und den Erfahrungen der Benutzer entsprechen.   |
| <b>5. Fehlertoleranz</b>               | Eine technische Komponente ist fehlertolerant, wenn der Benutzer das gewünschte Resultat trotz fehlerhafter Eingaben mit minimalen Korrekturen erreichen kann.<br>Dies erfordert, dass der Benutzer beim Aufspüren und Beseitigen von Fehlern unterstützt wird.  |
| <b>6. Individualisierbarkeit</b>       | - Anpassen an individuelle Aufgaben<br>- Anpassen an individuelle Arbeitsumstände<br>- Anpassen an individuelle Fähigkeiten und Vorlieben  |
| <b>7. Lernförderlichkeit</b>           | Unter Lernförderlichkeit wird verstanden, dass der zur Beherrschung der technischen Komponente benötigte Lernaufwand vom Benutzer bewältigt werden kann und einmal gelernte Bedienungsstrategien nicht wieder schnell aus dem Gedächtnis verschwinden.   |

Tabelle 2: Kriterien der DIN EN ISO 9241-110 ‚Grundsätze der Dialoggestaltung‘

## Ironien der Automation

Ein besonderes Problem menschlicher Leistungsfähigkeit in automatisierten Systemen bzw. ‚autonomen Umwelten‘ wird unter dem Begriff ‚Ironien der Automation‘ diskutiert. Die Automatisierung von Prozessen führt häufig dazu, dass Menschen automatisch ablaufende Prozesse nur noch überwachen. In seltenen Fällen ist das automatische System allerdings überfordert, und der Mensch muss eingreifen. Das Problem besteht nun darin, dass der menschliche Operateur aus mehreren Gründen schlecht in der Lage ist, diese Situationen zu bewältigen. Dies liegt zunächst am besonderen Anforderungsgehalt der Situation. Zweitens ist der

Mensch, weil er die Situation nicht selbst herbeigeführt hat, kaum ‚aktuell im Bilde‘ und wenig in der Lage, die Situation schnell zu analysieren und Handlungsoptionen abzuleiten. Drittens wird auch die grundsätzliche Fähigkeit des Menschen, das automatisierte System und die Umgebung insgesamt zu verstehen, tendenziell abnehmen, je weniger er aktiv in die Systemsteuerung eingreift. Es entsteht eine ‚ironische‘ Problemlage: Der menschliche ‚Überwacher‘ ist gerade wegen der Automatisierung zunehmend weniger in der Lage, seiner Überwachungstätigkeit gegenüber dem automatisierten System nachzugehen.





Ironien der Automation: Je mehr Automatisierung, desto weniger kann der Mensch seiner Überwachungsfunktion nachkommen

### Lernförderlichkeit von Arbeitssystemen

Insbesondere der Erhalt von bereits erlernten Bedienungen – und die Entwicklung weiterer Fähigkeiten – stellt sich in Arbeitsumgebungen, die durch autonome technische Systeme geprägt sind, als dringendes Problem dar. Im Zuge des demografischen Wandels werden Erwerbsbiografien deutlich länger werden. Zugleich beschleunigt sich vermutlich die technologische Entwicklung weiterhin. Es wird also tendenziell für Beschäftigte aller Qualifikationsstufen zunehmend wichtig sein, über ihre gesamten – langen – Erwerbsbiografien hinweg hinzuzulernen und zugleich auch diese Lernfähigkeit zu erhalten.

Die seit Jahrzehnten erhobene Forderung nach einer lernförderlichen Gestaltung von Arbeitssystemen erhält dadurch erstmals eine durchschlagende praktische Relevanz. In den zurückliegenden Jahrzehnten war es für die Unternehmen möglich, das Problem einer ‚Vernutzung‘ menschlicher Kompetenz und Lernfähigkeit durch möglichst frühzeitige Verrentung – und Ersatz durch junge Arbeitskräfte – zu umgehen. Diese Möglichkeiten bestehen durch Änderung der demografischen und politischen Rahmenbedingungen nicht mehr.

Gerade die oben dargestellten Kriterien der hierarchischen und sequenziellen Vollständigkeit von Arbeits-

aufgaben sind für die Lernförderlichkeit von Arbeitssystemen von zentraler Bedeutung.

### Sicherheit in der Mensch-Technik-Interaktion

Weiterhin werden fortgeschrittene robotische Systeme zunehmend enger mit Menschen in gemeinsamen Arbeitsbereichen kooperieren. Die bislang auch aus Sicherheitsgründen noch übliche ‚Einhegung‘ von Robotern hinter Gittern, Käfigen, Barrieren und Lichtschranken etc. wird nicht mehr zweckmäßig sein (Mensch-Roboter-Kollaboration, MRK).

### Kontrolle über MTI-Systeme

Ein Grundproblem der MTI im Kontext autonomer Systeme besteht schließlich darin, dass das menschliche Grundbedürfnis nach Kontrolle der eigenen Arbeits- und Lebensumwelt durch die ‚integrale Charakteristik‘ autonomer Systeme – eben ihre Autonomie – im Kern in Frage gestellt wird.

Aus einer reichen Forschungstradition zu lernförderlichen Arbeitssystemen liegen viele interessante Ergebnisse vor, insbesondere theoretisch und empirisch begründete Kennzahlen zur Erfassung der Lernhaltigkeit und Kontrollierbarkeit von Arbeitssituationen. Diese Ergebnisse sind vor dem Hintergrund der aktuellen technischen Entwicklungen aufzubereiten und für die Gestaltung ‚smarter‘, ‚autonomer‘ Produktionssysteme auf einer ingenieurwissenschaftlichen Grundlage nutzbar zu machen.

## 3. Prozess



Partizipative Systemgestaltung und Modellierung/Simulation des Körpers/Verhaltens führen zu günstigen Gestaltungen autonomer Systeme

Im Hinblick auf einen Entwicklungs- und Gestaltungsprozess, der zu günstigen Formen autonomikbasierter Arbeitssysteme führt, sind zwei Gruppen von Methoden besonders hervorzuheben:

### 1. Partizipative Systemgestaltung

Wichtige Konzepte und Methoden sind hier die systematische und frühzeitige Nutzung von Modellen und Prototypen zur Erprobung durch und Kommunikation mit zukünftigen Nutzern (partizipatives Prototyping) und die Kombination aus Planspiel und Simulation (Human Integrated Simulation komplexer Arbeitssysteme).

### 2. Modellierung und Simulation des Körpers und/oder des Verhaltens und der kognitiver Prozesse.

Damit können Anforderungen an die Interaktionsgestaltung abgeleitet und mögliche Fehlerquellen frühzeitig erkannt werden.

Beide Ansätze können auch in hybriden Simulationsverfahren kombiniert werden, z. B. in der „Human Integrated Simulation“.

Aus Autonomik-Projekten liegen auch zu diesen methodischen Aspekten Beispiele und Erfahrungen vor.

## 4. AUTONOMIK und Mensch-Technik-Interaktion

Im Kontext von AUTONOMIK werden die Diskussionen im Thema MTI von folgenden Schwerpunkten bestimmt:

- Fokussierung auf die arbeitsorganisatorischen Auswirkungen von modernen Arbeitssystemen im betrieblichen Umfeld
- Erfahrungen aus der Projektarbeit sollen frühzeitig Auswirkungen und Veränderungen erkennen lassen, die sich aus dem Einsatz autonomer Systeme auf Arbeitsprozesse und -organisation ergeben
- Wie werden sich Arbeitsorganisation und -prozesse durch die Einbindung von Technik sowie durch das komplexe Zusammenwirken von Mensch und Technik verändern?
- Wie lassen sich Arbeitsprozesse sicher gestalten?

Die Diskussionen und Entwicklungsarbeiten in AUTONOMIK machten deutlich, dass die Bedeutung des Faktors Mensch in der Industrie durchaus bekannt ist und auch bereits in einigen Entwicklungsschritten von Automatisierungssystemen etabliert ist. Dennoch wird MTI oft erst am Ende einer langen Kette von Entwurfsentscheidungen berücksichtigt. Das lässt dann Änderungen zugunsten einer intuitiven Mensch-Maschine-Interaktion teuer erscheinen und führt dazu, dass diese originäre Entwicklungsaufgabe auf die spätere Trainings-, Schulungs- bzw Handbuchgestaltung geschoben wird.

Eine neue Herausforderung ergibt sich durch den Trend zu kooperativen Mensch-Maschine-Systemen. In einer gleichberechtigten Kooperation sollen Mensch und Maschine als Team interagieren. In einem guten Team verständigen sich alle Mitglieder über ihre Intention – sie stimmen sich ab, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Technische Systeme müssen also erkennen, ob sich z. B. der Autofahrer in einem Stresszustand befindet. Als Konsequenz entlastet das System den Fahrer, indem es bestimmte Teilaufgaben, z. B. das Lenken, übernimmt. Ebenso muss das System frühzeitig an den Fahrer kommunizieren, wenn es nicht mehr in der Lage ist, die übernommene Aufgabe sicher durchzuführen. Darüber hinaus bedeutet Kooperation, dass aus einer einfachen Kommunikation zwischen z. B. Auto und Fahrer, eine erweiterte Kommunikation wird, die

diverse Fahrzeuge, ‚Infrastrukturen‘, Leitsysteme und Betreiber zur automatisierten Optimierung von Verkehrsflüssen umfasst: Autos können sich untereinander über die Fahrerintentionen und den Fahrerzustand unterrichten: „Mein Fahrer will einfädeln, ist aber sehr unsicher – könntest du Platz machen?“ und Informationen, die z. B. von Baustellen auf dem Fahrtweg gesendet werden, in ihre Entscheidungen einbeziehen.

Eine notwendige Voraussetzung für die zukünftige Umsetzung solcher Szenarien sind qualitativ hochwertige Benutzungsschnittstellen für eingebettete Systeme. Sie erhöhen das Vertrauen späterer Nutzer in die technische Umsetzung und sorgen vor allem auf Herstellerseite für eine erfolgreiche Marktdurchdringung kooperativer Systeme. Darüber hinaus ist es wichtig, die Bedürfnisse und das Verhalten der menschlichen Akteure zu kennen und daraus notwendige Systemfunktionen sowie Anforderungen an die Benutzungsschnittstellen abzuleiten. Dieses hoch komplexe Zusammenspiel muss bereits von Anfang an, bei der Planung der Systeme „auf dem Reißbrett“, konsequent berücksichtigt werden.

Dies betrifft auch solche Systeme, die autonom Aufgaben erledigen und vermeintlich keiner Interaktion mit einem Operateur bedürfen: Menschen definieren die Aufgaben, überwachen z.T. deren Erledigung, übernehmen weiterführende Aufgaben an Schnittstellen zu autonomen Systemen und warten die Systeme.

Gerade für autonome Systeme besteht eine besondere Gefahr, menschliche Bedürfnisse außer Acht zu lassen. Insbesondere im Umgang mit autonomen Systemen neigen Menschen zu übersteigertem Vertrauen gegenüber diesen Systemen (Complacency). Sie nehmen die Überwachung von Ergebnissen weniger ernst und lassen vor allem komplexe und intransparente Systeme „machen“. Neben dem Übervertrauen – aber auch möglichem Misstrauen – ist vor allem fehlendes Wissen über aktuelle Zustände des Systems schuld an ineffektivem Miteinander.

Treten dann Fehler des technischen Systems auf oder müssen Aufgaben der Maschine durch den Operateur übernommen werden, kann das auf der einen Seite zu Fehlinterpretationen und Schäden oder gar zu Verlet-

zungen führen. Auf der anderen Seite hat dies aber vor allem Ineffizienz und Ineffektivität der Maschine und des Operateurs bei der Aufgabenerledigung zur Folge. Beispielsweise ist dem Operateur selten genau bekannt, mit welchen räumlichen Ausdehnungen sich ein autonom agierender Roboterarm bewegt. Aus diesem Grund sind diese zumeist hinter großen Absperrungen aufgebaut, um Kollisionen zu verhindern. Wie aber erfolgt dann die Übergabe von bearbeiteten Gütern oder Aufgabenteilen an andere Maschinen oder Menschen? Und was, wenn keine Absperrungen existieren und die Übernahme schwierig und von weiteren erschwerenden Umständen abhängig ist?

Zahlreiche Unfälle der letzten Jahre in den unterschiedlichsten Domänen, in denen Menschen mit Automatisierungssystemen interagieren, weisen auf mangelnde Koordinierung der hochautomatisierten Assistenzsysteme mit den menschlichen Nutzern hin. Eine drastische Reduzierung der Unfallrate kann nur gelingen, wenn einerseits das Aufgabenspektrum der Nutzer viel stärker in die Systementwicklung einbezogen wird und andererseits die Veränderung des Aufgabenspektrums durch Automatisierung systematischer in der Aus- und Weiterbildung berücksichtigt wird.

Eine Hilfestellung für eine geeignete Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion kann schon mit sehr einfachen Mitteln geboten werden. Dazu sollte bereits vor der Systementwicklung eine Aufgabenanalyse erfolgen, um die Bereiche der ausschließlich technischen Funktionalitäten und der für den Operateur geeigneten Aufgaben über den gesamten Produktlifecycle hinweg zu definieren. Die Stufen der Automatisierung nach Endsley & Kaber machen bspw. musterartig die optionalen Kombinationen von Aufgaben deutlich, die entweder manuell, teilautomatisiert oder vollständig automatisiert ausgeführt werden. Autonome Systeme sind dabei nicht per se als in allen Teilen als voll automatisiert anzusehen, sondern bedürfen ebenso einer genauen Definition der Aufgabenteile. Diese sollten über den gesamten Lifecycle der Maschine hinweg beschrieben werden, um versteckte Mensch-Maschine-Schnittstellen zu offenbaren wie z. B. das Monitoring der Aufgabenerfüllung, die Wartung oder die Entsorgung. Die KOMPASS-Methodik nach Grote hilft bei der Bewertung einer solchen Mensch-Maschine-

Funktionsteilung im Hinblick auf Funktionalität, Wirtschaftlichkeit und Berücksichtigung menschlicher Bedürfnisse. Die Funktionsteilung muss jedoch dynamisch bewertet und angepasst werden und sollte nicht für alle Zeiten fix sein, da keine grundsätzlich bessere Eignung des Menschen oder der Maschine angenommen werden kann. Im Sinne einer adaptiven (dynamischen) Funktionsteilung können Teilaufgaben auch flexibel und situativ an Mensch oder Maschine verteilt werden.

Für die Gestaltung der Nutzungsschnittstellen selbst stehen Leitfäden, Standards und Normen zur Verfügung wie etwa die EN ISO 9241-110, in der folgende Grundsätze der Dialoggestaltung dargelegt sind (vgl. auch Tabelle 2: „Grundsätze der Dialoggestaltung“):

- Aufgabenangemessenheit
- Selbstbeschreibungsfähigkeit
- Lernförderlichkeit
- Steuerbarkeit
- Erwartungskonformität
- Individualisierbarkeit
- Fehlertoleranz

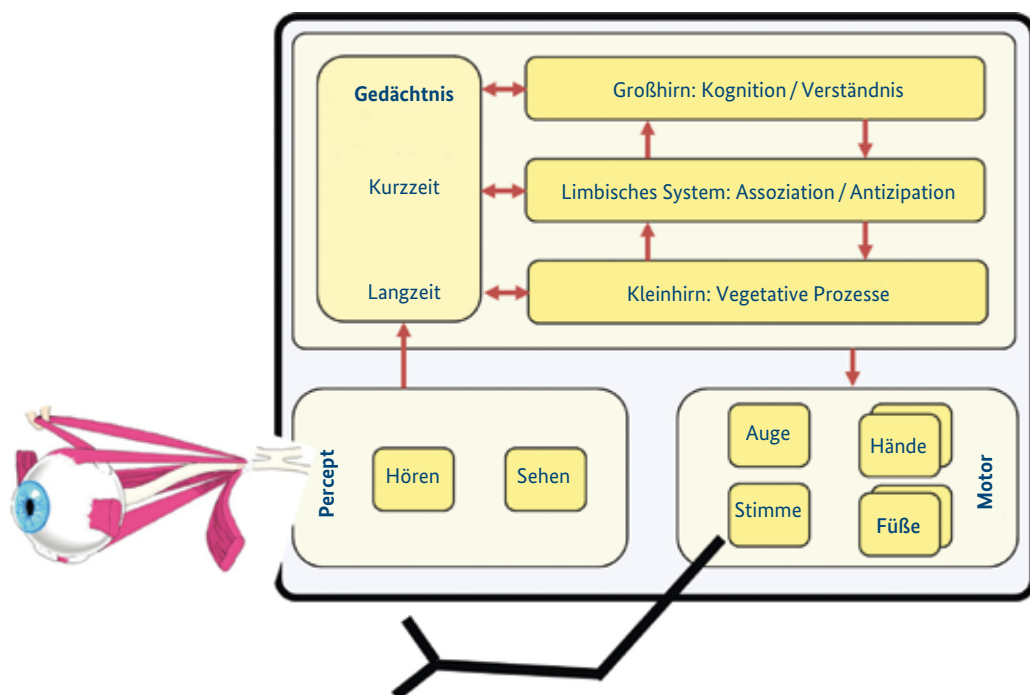
Ein rein schematisches ‚Abarbeiten‘ solcher Leitfäden und Normen reicht allerdings nicht aus. Für eine qualitativ hochwertige Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion müssen Systementwickler nicht nur die körperlichen Eigenschaften des Menschen, sondern auch die kognitiven Prozesse der Nutzer im Kontext ihrer jeweiligen (Arbeits-)Aufgaben verstehen und berücksichtigen. Zudem müssen entsprechende Entwurfswerkzeuge erforscht und implementiert werden, die dieses Wissen im Systementwicklungsprozess zur Verfügung stellen.

Diese Werkzeuge können Elemente der Partizipation – Einbeziehung der Nutzer in den Entwicklungsprozess – wie der Simulation – IT-basierte Abbildung von menschlichen kognitiven Prozessen – enthalten.

Zu diesem Verständnis kognitiver Prozesse gehört, dass Menschen in komplexen Umgebungen oft auf Basis von Heuristiken handeln. Dabei werden Handlungs-

prinzipien implizit und meist unbewusst auf Basis von Abwägprozessen (oder auch Routinelernen) zwischen Aufwand und Nutzen vermeintlich optimiert. Dies kann z. B. dazu führen, dass Gefahren z. B. in der Maschinenbedienung unterschätzt werden, wenn diese Gefahren nicht tatsächlich erlebt werden. Menschen optimieren in den meisten Fällen ihr Handeln auf lan-

ge Sicht anhand der tatsächlich erlebten und weniger anhand theoretisch möglicher Situationen. Dadurch können potenziell Vereinfachungen im mentalen Abbild, das der Mensch von der Maschine und ihrem Verhalten bzw. ihrer Bedienung erlernt, entstehen. Diese müssen im Systementwicklungsprozess antizipiert und berücksichtigt werden.



Ein viel versprechender Lösungsansatz, besteht darin, Modelle dieser kooperativen Systeme zu erstellen und diese bereits früh im Entwicklungsprozess zu verwenden, um Analysen und resultierende Entwurfsverbesserung im Hinblick auf Fragen der Usability, Brauchbarkeit, Intuitivität, Effizienz, Robustheit und Sicherheit durchzuführen. Modelle insbesondere des Verhaltens und der kognitiven Prozesse menschlicher Operateure (siehe unten) in der Interaktion mit Automatisierungssystemen in den Bereichen des Straßen- und Luftverkehrs wurden bereits erfolgreich demonstriert und sollen im Hinblick auf Fragestellungen der oben beschriebenen Mensch-Maschine Kooperation weiter erforscht werden.

Der Faktor Mensch wird in Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnen, da durch autonome Systeme

die partielle oder volle Automatisierung in weitere Bereiche vordringt. Dies führt zu einer grundlegenden Änderung des Aufgabenspektrums der menschlichen Operateure: der Mensch wechselt von einer ausführenden Rolle zu einer mehr überwachenden Rolle.

Der akute demografische Wandel geht einher mit der Anforderung, dass Automatisierung nicht nur an die Bedürfnisse älterer Operateure angepasst werden und diese geeignet unterstützen muss, sondern dass – wie oben bereits angesprochen – die Arbeitssystemgestaltung auf lange Erwerbsbiografien – und damit auch auf Benutzer unterschiedlichster Altersgruppen – ausgelegt werden muss (altersgerechte Systemgestaltung).

## 5. Empfehlungen



Gut organisiert!

### Arbeitsorganisation

Aspekte der Arbeitsorganisation werden oft in Technikentwicklungsprozessen vernachlässigt. Das hat negative Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit.

Insofern sind die AUTONOMIK-Projekte Positivbeispiele, weil sie alle – mit unterschiedlichen Akzenten – diese Wirkungsdimension zumindest berücksichtigen, in einigen Fällen auch aktiv gestalten.

Für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen (FuE) ist zu fordern:

- Als Minimalforderung die explizite Berücksichtigung von Effekten auf der Ebene der Arbeitsorganisation im Sinne einer ‚mitlaufenden Technikfolgenabschätzung‘.

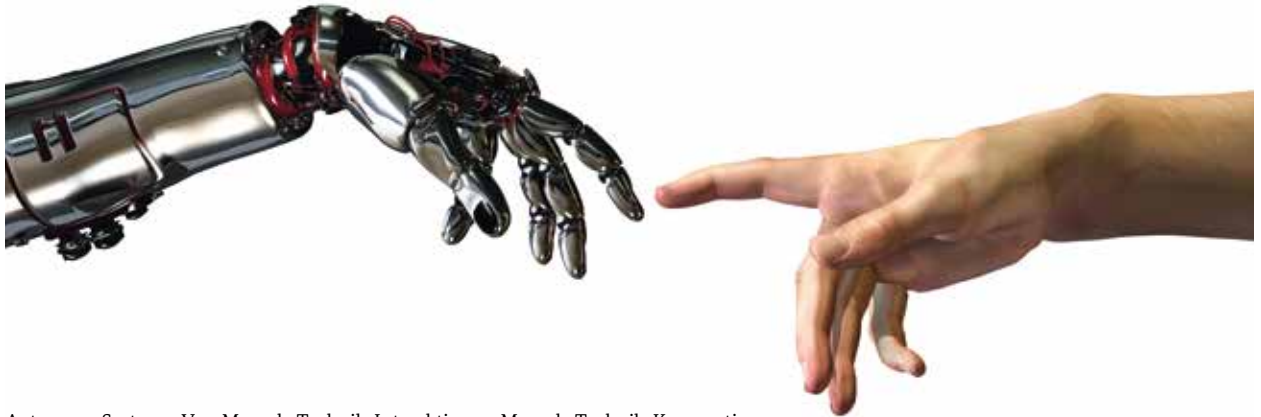
- Als weiterführende Anforderung die explizite Ausrichtung der technischen Entwicklungen im Hinblick auf wünschenswerte Formen der Arbeitsorganisation, wie etwa lernförderliche Arbeitssysteme.

### Produkt

Für die Produktgestaltung stehen Regelwerke zur Verfügung, wie etwa die DIN EN ISO 9241-110 im Bereich der Dialoggestaltung (vgl. Tabelle 1) und Regelwerke für die Sicherheit bei (kollaborativen) Robotersystemen (z. B. DIN EN ISO 10218).

Auch hier lassen sich Minimal- und weiterführende Anforderungen an zukünftige FuE-Maßnahmen formulieren:

- Minimalanforderung ist die explizite, reflektierte und im Ergebnis offengelegte Anwendung die-



Autonome Systeme: Von Mensch-Technik-Interaktion zu Mensch-Technik-Kooperation

ser einschlägigen Normen- und Regelwerke in FuE-Projekten.

→ Eine Weiterentwicklung der Normen und Regeln insbesondere im Bereich „MTI für autonome Systeme“ erscheint dringend geboten. So orientiert sich etwa die DIN EN ISO 9241-110 explizit an ‚dialogorientierten‘ Systemen, für die etwa die bekannten Systeme der Büroautomation typisch sind. Die besonderen Eigenschaften autonomer Systeme sind hier noch nicht hinreichend berücksichtigt. Daraus folgen zwei Empfehlungen:

- Auflage an alle öffentlich geförderten FuE-Projekte, Erkenntnisse, die für solche weiterführenden Normen und Regelwerke relevant sein könnten, explizit aufzubereiten und zu publizieren.
- Dezidierte FuE-Projekte zur Weiter- oder Neuentwicklung der Normen und Regelwerke. Dies kann als Arbeitspaket innerhalb größerer FuE-Verbünde, als eigenständiges FuE-Projekt oder im Rahmen begleitender Maßnahmen zu FuE-Programmen erfolgen.

Eine besondere Herausforderung besteht darin, dass durch autonome Systeme ein Übergang von einer ‚Mensch-Technik-Interaktion‘ zu einer ‚Mensch-Technik-Kooperation‘ eingeleitet werden könnte. Die Technik wäre dann nicht mehr ‚Instrument‘, sondern ‚Partner‘ des Menschen. Daraus ergeben sich sehr weitreichende Implikationen, nicht nur für Kriterien und Methoden der Technikgestaltung, sondern für unser

grundlegendes Verständnis von Technik. Diese Perspektive ist bei den o.g. Weiter- oder Neuentwicklungen von Normen und Regelwerken zu berücksichtigen.

## Prozess

Es wurden in diesem Leitfaden zwei wichtige Elemente von Technikgestaltungsprozesses herausgestellt: Partizipative Verfahren – die aktive Einbindung (zukünftiger, exemplarischer) Nutzer in die Technikgestaltung – und Verfahren der Modellierung und Simulation des menschlichen Körpers, des Verhaltens, der Wahrnehmung und des Denkens.

Für zukünftige FuE-Maßnahmen ist zu empfehlen:

- Hybride Gestaltungsprozesse bzw. -methoden, die sowohl partizipative wie modell- und simulationsbasierte Methoden umfassen, sind für eine angemessene Berücksichtigung menschlicher Belange besonders geeignet. Der Einsatz solcher Methoden in öffentlich wie privat finanzierten FuE-Projekten sollte stärker propagiert bzw. eingefordert werden.
- Die gute Praxis im Hinblick auf solche – insbesondere hybriden – Methoden sollte stärker dokumentiert und ggf. auch standardisiert werden. Referenzsysteme für hybride Gestaltungsmethoden – nicht nur, aber insbesondere auch – im Bereich autonomer Systeme sind wünschenswert. Hierfür sollten spezifische FuE-Maßnahmen oder begleitende Prozesse vorgesehen werden.

## Checkpunkte für die Mensch-Technik-Interaktion (MTI) bei der Einführung autonomer Systeme

### 1. Wie kann die Qualität der MTI gesichert werden?

Die hinsichtlich der Qualität der Arbeit und der nachhaltigen Sicherung der menschlichen Leistungsfähigkeit wichtigsten Anforderungen liegen im Bereich der Arbeitsorganisation. Dies bezieht sich auf Fragen der Aufgabenverteilung und -kombination, der Definition von Arbeitsinhalten für Arbeitsplätze. Autonome Systeme werden in diese Arbeitsorganisation ‚eingebettet‘, und sie haben auch selbst einen – möglicherweise erheblichen – Einfluss auf die Arbeitsorganisation. Für diese Fragestellungen gibt es allerdings keine verbindlichen normativen Grundlagen (Gesetze, Verordnungen, Normen etc.) im engeren Sinne. Einen ersten Eindruck der wichtigsten Aspekte gibt der hier vorliegende Leitfaden. Für spezifische Fragen stehen – auch regional – vielfältige Beratungsangebote der Sozialpartner und verwandter Organisationen zur Verfügung.

### 2. Veränderte Arbeitsbedingungen – wie kommunizieren?

Zu arbeitsorganisatorischen Fragen liegen, gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse über die menschengerechte Gestaltung der Arbeit‘ vor. Sie können für die Beteiligungsrechte des Betriebsrats nach §§ 90, 91 BetrVG wesentlich sein. Die wichtigsten dieser Erkenntnisse sind im vorliegenden Leitfaden zusammengefasst. Betroffen sind etwa das Mitwirkungsrecht zur Unterrichtung und Beratung über geplante Maßnahmen bezüglich der Gestaltung von Arbeitsplätzen, Arbeitsabläufen und Arbeitsumgebungen (§ 90 Abs. 1 und 2 BetrVG) und insbesondere das korrigierende Mitbestimmungsrecht bei Änderungen der Arbeitsplätze, des Arbeitsablaufs oder der Arbeitsumgebung (§ 91 BetrVG).

### 3. Welche Rechte hat der Betriebsrat?

Weitere Rechte des Betriebsrats beziehen sich u. a. auf die Unterrichtung über alle Angelegenheiten des betrieblichen Arbeitsschutzes und Umweltschutzes (§ 80 Abs. 2 BetrVG), die Unterrichtung durch die Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit (§ 9 Abs. 1 und 2 ASiG) und das Vorschlagsrecht für zusätzliche Maßnahmen des Arbeits- und Gesundheitsschut-

zes (§ 88 Nr. 1 BetrVG, § 80 Abs. 1 Nr. 9 BetrVG, § 21 Abs. 4 GefStoffV).

### 4. Mitarbeiter einbinden – welche Methoden funktionieren?

Eine beteiligungsorientierte Strategie zur Einführung neuer Technologien und neuer Formen der Arbeitsorganisation ist in der Regel im objektiven Interesse des Unternehmens. Transparente und faire Methoden der Mitarbeiterbeteiligung führen sowohl zu einer höheren Akzeptanz der Innovationen als auch oftmals zu sachlich günstigeren Gestaltungslösungen, weil das Arbeitssystem- und -prozesswissen der Beschäftigten genutzt wird. Wichtig sind hier klare Regelungen der Randbedingungen: Welche Aspekte werden ‚von oben‘ entschieden und verantwortet? Was ist der ‚Beteiligungsrahmen‘ für die Beschäftigten: Auf welche Aspekte der Neugestaltung der Arbeitssysteme können sie auf welche Weise in welchem Umfang Einfluss nehmen? Eine externe Moderation eines solchen partizipativen Gestaltungsprozesses durch eine von allen Beteiligten akzeptierte Institution kann hierbei hilfreich sein.

### 5. Zur Sicherheit

Für die Mensch-Technik-Interaktion im engeren Sinne gibt es Normen und Richtlinien, insbesondere die in diesem Leitfaden mehrfach angesprochene Norm EN ISO 9241 ‚Ergonomie der Mensch-System-Interaktion‘. Diese Norm repräsentiert auch ‚gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse‘ im oben angesprochenen arbeitsrechtlichen Sinne.

### 6. Welche Normen gibt's?

Für Industrieroboter gibt es verbindliche normative Grundlagen wie etwa die Normenreihe DIN EN ISO 10218 ‚Industrieroboter; Sicherheitsanforderungen‘. Eine gute Zusammenfassung der relevanten Regelungen aus berufsgenossenschaftlicher Sicht gibt die online verfügbare BG-Information ‚Industrieroboter‘ (BGI 5123, Juni 2008). Speziell für kollaborierende Roboter interessant sind die ‚BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie – Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern (U 001/2009 Oktober 2009, Fassung Februar 2011).



## 6. MTI in AUTONOMIK-Projekten

Fallbeispiele für Gestaltungslösungen von Arbeitsorganisationen und Produkten und innovative und übertragbare Gestaltungsmethoden. Im Anhang finden Sie eine detailliertere Beschreibung der Vorgehensweise.

**Im Einzelnen stehen die folgenden Aspekte im Vordergrund:**

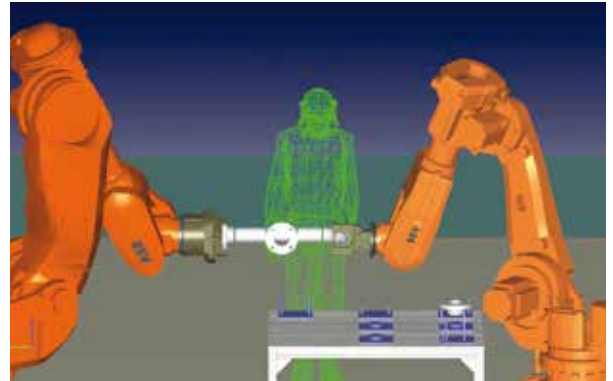
### DyCoNet

Ziel von DyCoNet ist es, allen an logistischen Prozessen der Luftfracht Beteiligten jederzeit aktuelle Logistikdaten überall auf der Welt zur Verfügung zu stellen. Luftfrachtcontainer sollen als intelligente Objekte in übergeordnete Unternehmensnetzwerke integrierbar sein. Die in Luftfrachtcontainern eingesetzten Funkknoten bieten die Möglichkeiten, den Inhalt des Containers und den Container selbst zu überwachen (z. B. auf Stoß, unzulässige Temperaturen). Diese sensorgesteuerte Überwachung der Containerladung können Logistikanbieter ihren Kunden (Versendern) als Mehrwert anbieten.

Im Projekt wurde beispielhaft ein Lösungsansatz in Form einer smartPhone App als eine mögliche Schnittstelle zwischen Mensch (z. B. Groundhandler) und intelligentem Container (SmartULD) im Luftfrachtverkehr entwickelt. Der Schwerpunkt des Projekts liegt hier eindeutig im Produktbereich, weitreichende Auswirkungen auf die der Arbeitsorganisation sind nicht zu erwarten.

### rorarob

Ziel des Projekts rorarob ist die Entwicklung eines Roboterassistenzsystems zur Bearbeitung von Schweißaufgaben in der Rohr- und Rahmenfertigung. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine unter ergonomischen und ökonomischen Aspekten ist ein wesentliches Ziel des Projekts.



Digitales Menschmodell für rorarob



Individuelle Feinpositionierung aller Werkstücke dank rorarob

Im Zentrum steht die Minimierung von Nutzungsfehlern beim Einsatz von Industrierobotern. Dazu werden ein methodischer, gestaltungsprozessbezogener Ansatz und zwei produktbezogene Ansätze verfolgt. Der methodische Ansatz besteht in der Nutzung eines digitalen physischen Menschmodells (Simulation des menschlichen Körpers). Die produktbezogenen Aspekte umfassen die Anpassung der Arbeitshöhe an den Mitarbeiter (Schweißer) und die Roboterfeinpositionierung im laufenden Betrieb mit Hilfe eines innovativen Interaktionsinstruments (6D-Maus). Im Bereich der Arbeitsorganisation trägt das entwickelte System dazu bei, die Tätigkeiten des Schweißers im Bereich seiner Kernaufgaben zu konzentrieren und von – oftmals belastenden – Nebentätigkeiten zu befreien.

## RoboGasInspector

Wie Roboter frühzeitig Gaslecks in technischen Anlagen finden, zeigt das Projekt RoboGasInspector. Dort wird ein innovatives Mensch-Maschine-System mit intelligenten, kooperierenden und mit Gasfernmesstechnik ausgestatteten Inspektionsrobotern entwickelt. So können Inspektionen von technischen Anlagen weitgehend autonom bewältigt werden.

Auch in diesem Projekt werden sowohl prozess- wie produktbezogene Fragen bearbeitet. Der Gestaltungsprozesses ist insgesamt sehr partizipativ – auf Einbeziehung der zukünftigen Nutzer – ausgerichtet, dies betrifft sowohl die einleitenden Arbeitsanalysen wie die Bewertung von Papier- und digitalen Prototypen bis hin zur (geplanten) Evaluation des Gesamtsystems unter Realbedingungen. Produktbezogene Entwicklungen betreffen sowohl Aus- wie Eingabemedien: Einerseits die Visualisierung mit Hilfe eines Head Mounted Display, andererseits gestenbasierte Interaktionskonzepte für die Teleoperation und Telemanipulation bis hin zu einer Gestensprache für die Mensch-Roboter-Interaktion.



Der RoboGasInspector soll Lecks in Gasleitungen selbstständig detektieren.

## marion

Ziel von marion ist die Automatisierung von Arbeitsprozessen in der Landwirtschaft und im innerbetrieblichen Transport mit autonomen Fahrzeugen. Kern des Projekts ist die Bewegungs- und Verfahrensplanung mobiler Maschinen als Grundlage für den autonomen Maschinenbetrieb. Intelligente Assistenzsysteme führen die Prozesse autonom durch und unterstützen die am Prozess beteiligten Menschen.

Ähnlich wie RoboGasInspector setzt auch dieses Projekt auf partizipative Entwicklungsmethoden einschließlich der Entwicklung nutzerzentrierter Anwendungsszenarien und der Bewertung von Papier-Prototypen durch Benutzer. Produktbezogene Fragen beziehen sich beispielsweise auf Übergänge zwischen automatischem und manuellem Betrieb und die nutzergesteuerte Interaktion mit mehreren parallel laufenden Anwendungen. Arbeitsorganisatorische Fragen stellen sich hinsichtlich der Tätigkeit der Überlandwagenfahrer (Kurzstrecken-Transport des Ernteguts von der Erntemaschine zum Langstrecken-Transportfahrzeug).

## LUPO

Lupo entwickelt ein Verfahren, mit dem der Einsatz autonomer Technologien auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht werden kann, bevor Kosten für die Anpassung der realen Prozesse entstehen. Dazu entwickelt LUPO einen hybriden Simulator, der eine Prüfung von Entscheidungsalternativen ermöglicht. Die hybride Form der Simulation soll zur besseren Veranschaulichung bei der Planung der Fertigung beitragen.

Der Simulator verbindet die Vorteile der reinen computerbasierten Simulation mit denen von Modellfabriken. Er besteht aus physischen Werkstück- und Werkzeugdemonstratoren, welche mit verschiedenen

Möglichkeiten der autonomen Kommunikation ausgestattet sind. Prozesse können nachgebaut, variiert, simuliert und durch den Einsatz eines modernen Fertigungsmanagementsystems analysiert werden. Es stehen also Aspekte des Gestaltungsprozesses – hier im Bereich der Produktionstechnik – im Vordergrund. Ein besonderer Vorzug besteht darin, dass partizipative und modell- bzw. simulationsbasierte Methoden kombiniert werden können. Im Bereich der Produktionstechnik sind vielfältige und gravierende Auswirkungen autonomer Systeme auf die Arbeitsorganisation zu erwarten. Die Lupo-Simulationsumgebung kann entscheidend dabei helfen, diese arbeitsorganisatorischen Aspekte systematisch in den Gestaltungsprozess einzubeziehen.

#### smartOR

Ziel des Projekts smartOR ist es, basierend auf offenen Standards unter Gewährleistung eines effektiven Risikomanagements sowie einer effizienten Mensch-Maschine-Interaktion die technische Umsetzbarkeit von herstellerübergreifend vernetzten Medizinsystemen zu zeigen

Auch in diesem Projekt liegt der Akzent auf den Gestaltungsprozessen und -methoden. Mit Hilfe der am Lehrstuhl für Medizintechnik der RWTH Aachen entwickelten modellbasierten mAIXuse-Methodik lassen sich bereits im Rahmen der Definitionsphase frühzeitig benutzerinteraktive Prozessschritte modellieren und deren möglicher Einfluss auf den Gesamtprozess bewerten. Der Anwender kann mit mAIXuse aber auch bestehende Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie Interface-Prototypen optimieren und im Rahmen des Validierungsprozesses bewerten. Ein besonderer Akzent der Modellierung betrifft die menschliche Informationsverarbeitung: Wahrnehmung, kognitive Verarbeitung und Handlung (Motorik). Hinsichtlich der Arbeitsorganisation bestehen vielfältige Implikationen insbesondere hinsichtlich der Kommunikations- und Kooperationsbeziehungen zwischen den unterschiedlichen Akteuren im OP.



smartOR untersucht MTI im OP

Im Sinne der diesem Leitfaden zu Grunde liegenden Unterscheidung zwischen arbeitsorganisations-, produkt- und prozessbezogenen Aspekten der Gestaltung der MTI in autonomen Systemen fasst die folgende Tabelle die in den einzelnen Fallbeispielen behandelten Fragestellungen als Überblick zusammen.

|                         | Arbeitsorganisation   | Produkt  | Prozess  |
|-------------------------|---|--|--|
| <b>DyCoNet</b>          | <p>Ziel des Projektes ist es, manuelle Dokumentationsvorgänge im Frachtverkehr zu minimieren bzw. perspektivisch zu eliminieren.</p> <p>Das Aufgabenspektrum der Arbeitenden (Groundhandler im Luftfrachtverkehr) verschiebt sich dadurch von datenerfassenden zu überwachenden Tätigkeiten.</p> <p>Weitreichende Konsequenzen hinsichtlich Qualifikationsanforderungen und Verantwortungsbereichen sind allerdings nicht zu erwarten.</p>  | <p>smartPhone App als Schnittstelle zwischen Mensch (z. B. Groundhandler) und intelligentem Container</p>  |  |
| <b>rorarob</b>          | <p>Durch das neue Robotersystem werden die Schweißer nicht ersetzt, es geht vielmehr darum, Nebentätigkeiten (Werkstückhandhabung) zu reduzieren, die für die Kernaufgabe – das Schweißen – nicht wesentlich sind.</p> <p>Das neue System führt zu erheblichen ergonomischen Entlastungen, Bauteile von ca. 80kg müssen nicht mehr manuell bewegt und positioniert werden. Auch Zwangshaltungen werden vermieden.</p> <p>Verbleibende statische Arbeitsprozesse (Haltearbeit) finden unter ergonomisch erheblich verbesserten Bedingungen statt.</p> <p>Es entstehen Qualifikationsbedarfe in begrenztem Umfang im Hinblick auf die Interaktion mit dem Robotersystem.</p> <p>Die Schweißer programmieren die Roboter nicht, dies erfolgt fast ausschließlich durch Offline-Programmierung. Eine Aufgabenbereicherung für die Schweißer durch Integration von Programmieraufgaben ist – auch aus betriebswirtschaftlichen Gründen – nicht nahe liegend.</p> | <p>Anpassung der Arbeitshöhe an den Mitarbeiter (Schweißer) und Roboterfeinpositionierung im laufenden Betrieb mit Hilfe eines innovativen Interaktionsinstruments (6D-Maus).</p>  | <p>Digitales physisches Menschmodell (Simulation des menschlichen Körpers)</p>   |
| <b>RoboGasInspector</b> | <p>Die Aufgaben der Trassenläufer werden sich deutlich ändern. Die vor-Ort-Begehung wird tendenziell verschwinden und durch Tätigkeiten in einer zentralen Leitwarte ersetzt werden. Damit steigt die Bedeutung von Aufgaben wie Überwachung, Planung, Service. Dies impliziert einen Trend zu höherqualifizierten Tätigkeiten.</p> <p>Zu klären ist, inwieweit das vorhandene Personal durch Weiterbildung für diese neuen Aufgaben qualifiziert werden kann, und inwieweit anderes Personal eingesetzt werden muss.</p>   | <p>Aus- und Eingabemedien: Visualisierung mit Head Mounted Display, gestenbasierte Interaktionskonzepte für die Teleoperation und Telemanipulation bis hin zu einer Gestensprache für die Mensch-Roboter-Interaktion</p> | <p>Partizipativer Gestaltungsprozess, Einbeziehung der zukünftigen Nutzer: Arbeitsanalysen, Bewertung von Papier- und digitalen Prototypen, Evaluation des Gesamtsystems unter Realbedingungen</p> |
| <b>marion</b>           | <p>Der Überladewagenfahrer wird von zeitkritischen Wahrnehmungs- und Entscheidungsaufgaben entlastet, Überwachungsaufgaben gewinnen an Bedeutung. Es besteht eine gewisse Gefahr, dass bereits vorhandene Fähigkeiten verschwinden, weil das autonome System sie übernimmt (Fähigkeitserosion).</p> <p>Eine mögliche ergänzende, kompensierende Aufgabe der Überladewagenfahrer wäre die Koordination der Transportwagenfahrer.</p> <p>In einem für die Zukunft denkbaren Szenario autonom fahrender Überladewagen stellt sich die Frage der Neukombination von Aufgaben erneut.</p>  | <p>Übergänge zwischen automatischem und manuellem Betrieb, nutzergesteuerte Interaktion mit mehreren parallel laufenden Anwendungen</p>  | <p>Partizipative Entwicklungsmethoden: Entwicklung nutzerzentrierter Anwendungsszenarien, Bewertung von Papier-Prototypen durch Benutzer</p>   |

|                |   |   |  |
|----------------|---|---|--|
| <b>Lupo</b>    | <p>Die Aufgaben des Shopfloor-Personals werden sich in Richtung auf Überwachung und kritische Entscheidungen verändern. Es besteht ein Risiko der Fähigkeitserosion als Folge der Automation.</p> <p>Das im Projekt entwickelte Simulatorentraining im Kontext einer hybriden Simulation (Software und Hardware, z. B. Simulator) soll diesem Fähigkeitsverlust entgegenwirken</p> <p>Für einen günstigen zukünftigen Aufgabenzuschnitt können Überwachungs- und Wartungstätigkeiten kombiniert werden; dann besteht Weiterbildungsbedarf im Hinblick auf die Wartung komplexer Systeme.</p> <p>Ein solcher günstiger Aufgabenzuschnitt ist insbesondere möglich im Kontext einer auf teil-autonome, dezentrale Einheiten hin ausgerichteten Organisationsgrundkonzeption. Diese dezentralen Organisationseinheiten integrieren Ausführung, Steuerung und Planung sowie ggf. weitere Funktionsbereiche (z. B. Transportdienstleitungen).</p>  | <p>(Das Produkt – der hybride Simulator – ist im Kern ein Werkzeug zur Prozessgestaltung)</p>   | <p>Hybrider Simulator, der die Vorteile der reinen computerbasierten Simulation sowie von Modellfabriken verbindet. Er besteht aus physischen Werkstück- und Werkzeugdemonstratoren, die mit verschiedenen Möglichkeiten der autonomen Kommunikation ausgestattet sind. Prozesse können nachgebaut, variiert, simuliert und durch den Einsatz eines modernen Fertigungsmanagement-Systems analysiert werden.</p> |
| <b>smartOR</b> | <p>Im Operationssaal kommen steril arbeitendes (z. B. Chirurg, OP-Schwester) und nicht steril arbeitendes Personal (z. B. Anästhesist, Anästhesiepfleger) zusammen.</p> <p>Das neue technische System bietet erweiterte Möglichkeiten der Interaktion zwischen diesen verschiedenen Personengruppen durch multiple, sterile Schnittstellen (z. B. Tablet, Gestenerkennung) zur Steuerung unterschiedlichster Geräte von verschiedenen Orten aus.</p> <p>Insbesondere kann nun steril arbeitendes Personal auch unterschiedliche Geräte über sterile Benutzungsschnittstellen steuern, ohne unsteril zu werden.</p> <p>Dadurch wird die ad-hoc-Aufgabenverteilung im OP flexibler. Die steril arbeitende OP-Schwester kann nun etwa zusätzliche Aufgaben übernehmen. Dabei muss allerdings die Gesamtbelastung berücksichtigt werden.</p> <p>Die Benutzung der Technik stellt für ungeübtes Personal eventuell eine Belastung dar, was durch eine intuitive Gestaltung der MTI vermieden werden soll.</p> <p>Auch eine Entlastung von Nebentätigkeiten ist angestrebt. Die Systeme melden sich automatisch zentral an, das OP-Personal wird informiert, welche Systeme vorhanden und bereit sind. Dadurch entfallen entsprechende Such- und Prüfprozesse, die heute noch Kapazität binden.</p> <p>Die enge Kooperation und Kommunikation zwischen OP-Schwester und Operateur soll durch die neuen Interaktionsformen optimiert werden.</p> | <p>Konzept für die Integration einer Arbeitsstation in den OP zur Reduzierung der Anzahl der unterschiedlichen Mensch-Maschine-Schnittstellen mit unterschiedlichen Bedienkonzepten und der Möglichkeit des Austausches und der integrierten Nutzung von Informationen.</p> | <p>Modellierung und Bewertung benutzerinteraktiver Prozessschritte im Rahmen der Definitionsphase (mAIKuse). Besonderer Akzent: Menschliche Informationsverarbeitung: Wahrnehmung, kognitive Verarbeitung und Handlung (Motorik).</p>  |

Tabelle 3: Übersicht der MTI-Relevanz in den AUTONOMIK-Projekten

## 7. Gastbeitrag

### Die Einführung autonomer Systeme aus Sicht der betrieblichen Interessensvertretungen

Cornelia Brandt, ver.di – Bundesverwaltung, Ressort 13: Bereich Innovation und Gute Arbeit, Regine Franz, Beratungsstelle für Technologiefolgen und Qualifizierung im ver.di-Bildungswerk Hessen

IT-Technologien werden auch im Mittelstand vorrangig zur Optimierung der jeweiligen Anwendungsfelder und letztlich zur Verbesserung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit eingesetzt. Die Frage der Einführung und konkreten Ausgestaltung und Nutzung autonomer Systeme und die Gestaltung der Mensch-Technik-Schnittstelle richtet sich daher vorrangig nach diesen Parametern, auch bei gleichzeitiger Beachtung und Einhaltung gesetzlicher, tariflicher und betrieblicher Normen. Daher ist es zu begrüßen, dass das Forschungsprojekt AUTONOMIK sich frühzeitig und intensiv mit der Frage der Gestaltungsanforderungen an autonome Systeme aus Arbeitnehmer-/innen-sicht auseinandersetzt und damit das Ziel unterstützt, arbeitnehmer-/innenorientierte, gesundheits- und arbeitszutragliche Elemente in autonome Systeme zu implementieren.

Aus Sicht der Beschäftigten sind vor allem Fragen nach dem zu erwartenden Wegfall von Arbeitsplätzen, die Möglichkeit der Qualifizierung von Beschäftigten, das entstehende Kontrollpotenzial des Arbeitgebers sowie die generellen Auswirkungen der neuen Technologie von Interesse. Maßstab für Betriebs- und Personalräte sind bei der Einführung autonomer Systeme im Rahmen der Mitbestimmungsrechte die Anforderungen an gute Arbeit i.S.d. DGB-Index „Gute Arbeit“ und die Gestaltungsregeln, die bei einer Gefährdungsanalyse nach dem Arbeitsschutzgesetz zu berücksichtigen sind. „Gute Arbeit“ ist eine Arbeit, die Menschen ausfüllt, die sie fordert, die ihrer Tätigkeit einen Sinn gibt. Menschen brauchen Anerkennung, Wertschätzung und Respekt. Sie wollen ernst genommen, informiert, an Planungen beteiligt werden. Gute Arbeit fördert die Gesundheit und wahrt die Persönlichkeitsrechte. Sie



Interessenvertretungen müssen frühzeitig in Einführungspläne autonomer Systeme eingebunden werden

entspricht dem Leistungsvermögen, den Fähigkeiten und den Fertigkeiten der Beschäftigten.<sup>1</sup> “

Mit diesen Anforderungen lassen sich Systeme, die Arbeitsplatzverlust, veränderte Qualifikationsanforderungen und massive Kontrolle von Leistung und Verhalten sowie die „Degradierung“ der Beschäftigten zum Assistenten der Technik als Potenzial in sich tragen, nur schwerlich vereinbaren.

Um diese Gefahren zumindest minimieren zu können, müssen Interessenvertretungen frühzeitig in Einführungspläne autonomer Systeme eingebunden werden. Dies versetzt sie in die Lage, sich selbst qualifizieren und ggf. externen Sachverstand einschalten zu können. Kompetente Interessenvertretungen können schonendere Gestaltungsoptionen entwickeln und diese in die Diskussionen mit dem Arbeitgeber einbringen.

Zudem muss die Frage diskutiert werden, ob die Instrumentarien, die betrieblichen Interessenvertretungen bei der Durchsetzung ihrer Interessen zur Verfügung stehen, noch adäquat im Verhältnis zur Herausforderung sind. Mitbestimmungsrechte, die die Gestaltung von Systemen und der Arbeitsorganisation zum Inhalt

<sup>1</sup> Grundsatzklärung der ver.di vom 18. März 2010

haben, stehen nicht zur Verfügung und entsprechende Gestaltungsanliegen können nicht oder nur indirekt umgesetzt werden.

Die Einführung autonomer Systeme, eingebettet in eine beschäftigtenorientierte Arbeitsorganisation und in gesundheitszuträgliche Arbeitsbedingungen, bedarf durchsetzungsstarker Rechte der betrieblichen Interessenvertretungen, damit die Anforderungen an „Gute Arbeit“ auch in den Unternehmen umsetzbar werden. Bisläng gibt es keine Erkenntnisse darüber, was die Grund- und Rahmenbedingungen für eine gute Einführung und Umsetzung autonomer Systeme sind. Es existieren keine Bewertungskriterien für eine erfolgreiche Umsetzung während des Einführungsprozesses und keine Merkmale, die retrospektiv einen Erfolg messbar machen könnten.

Prospektiv betrachtet fehlt es an einer ethisch-gesellschaftlichen Diskussion, welchen Stellenwert Technik im Arbeitsleben einnehmen darf. Ist es mit dem

Persönlichkeitsrecht der Einzelnen und dem Datenschutz vereinbar, dass eine nahezu permanente Kontrolle der Beschäftigten eine unvermeidbare Folge der Systeme ist? Bleiben autonome Systeme unterstützende Technik oder werden sie zu einem gleichwertigen oder gar „höherwertigen“ Partner in der Arbeitswelt, der die Entscheidungen und Verantwortung übernimmt mit der Folge, dass die Kompetenzen und das Erfahrungswissen der Beschäftigten in den Hintergrund treten und zu einer kontinuierlichen Dequalifizierung und Verlust der Autonomie in der Arbeit führen? Wie kann eine stete Angst vor Arbeitsplatzverlust vermieden und wie müssen adäquate Weiterbildungsmaßnahmen mit dem Ziel einer „Guten Arbeit“ aussehen? In diesem Spannungsfeld sind die Fragen einer beschäftigtenorientierten Einführung und Nutzung autonomer Systeme auch zwischen den Sozialpartnern zu diskutieren.

## 8. Anhang

### Detaillierte Beschreibung der AUTONOMIK-Projekte unter dem Aspekt MTI

#### DyCoNet

Luftfrachthubs sind Waren-Umschlagplätze auf Flughäfen, wo sog. ‚Groundhandler‘ (Logistik-Mitarbeiter) die Ware in Luftfrachtcontainer verladen und diese zur richtigen Zeit ins richtige Flugzeug bringen. Überwacht wird dies mit Hilfe von IT-Systemen. Manuelle Buchungsvorgänge informieren über den Prozessstatus. Ziel ist es, diese manuellen Scanning- und Eingabeschritte möglichst zu eliminieren, Suchaufwände zu reduzieren und Fehlverladungen zu vermeiden. Diese Aufgaben sollen in Zukunft autonom durch den in DyCoNet zu entwickelnden intelligenten Container erfolgen. Der smartULD soll dabei so eingesetzt werden, dass beim Einsatz RFID-getagter Fracht Warenannahme, Umlagerung, Build-Up, Breakdown sowie Verladung nachvollzogen und im überlagerten IT-System verbucht werden. Darüber hinaus soll der Container in Zukunft selber einen Transportauftrag organisieren und durchführen. Da Dokumentationsvorgänge in

diesem Fall nicht mehr manuell erfasst werden, ergeben sich weitreichende Auswirkungen auf die Benutzerschnittstelle zwischen Mensch und IT-System. Aus diesem Grund wird die Implementierung eines neuen Mensch-Maschine-Interfaces in DyCoNet nötig.

Auf praktische Anwendungsfälle bezogen, in denen der Container auf dem Flughafengelände noch manuell beladen und transportiert wird, beschränkt sich die Mensch-Technik-Interaktion auf eine reine Kommunikation. Der Groundhandler muss also wissen, ob die richtigen Waren in den Container geladen wurden oder ob während des Transports beispielsweise Temperaturvorgaben nicht eingehalten wurden. Erste Lösungsansätze wurden in Form einer smartPhone App realisiert.

#### rorarob

##### Humansimulation

Die Herausforderung der Humansimulation besteht in der zielgerichteten Einbindung eines virtuellen Schweißer-Modells in das Offline-Programmiersystem

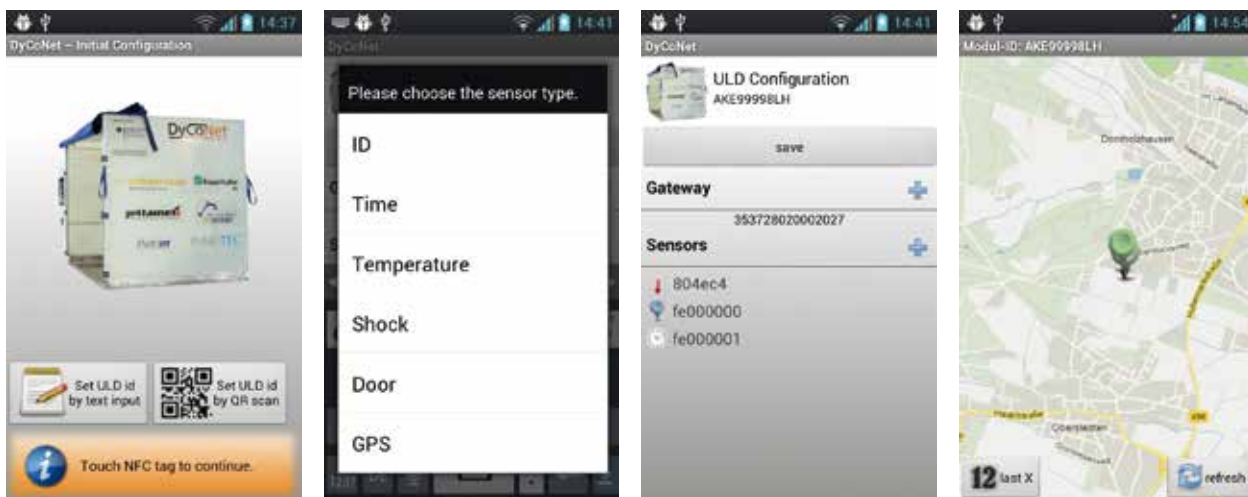


Abbildung 1: Groundhandler Smartphone App



FAMOS. Hierbei gilt es, die kinematischen Begrenzungen anforderungsgerecht abzubilden. Über Kollisionsabfragen werden optimale Bewegungsmuster für die werkstückführenden Handhabungsroboter abgeleitet, die in Roboterprogramme umgewandelt und in das Gesamtsystem übernommen werden. Gleichzeitig wird an dem virtuellen Werker überprüft, ob dessen physische Belastung unterhalb der Belastungsgrenzen liegt. Für die Humansimulation wird das in der Spielebranche verwendete Echtzeitsystem EMotionFX zur Animation der 3D-Charaktere verwendet, das besonders realitätsnahe Abbildungen entwerfen kann.

#### Anpassung der Arbeitshöhe an den Mitarbeiter

Die Herausforderung besteht in der individuellen Anpassung der Arbeitshöhe an den Schweißer. Es soll ihm ermöglicht werden, in der seinen ergonomischen Bedürfnissen gerechten Arbeitshöhe zu arbeiten. Auch das Schweißen im Sitzen soll bereitgestellt werden, wenn es der Montageschritt zulässt.

Innerhalb der Offline-Programmierung FAMOS robotic wird der gesamte Montageprozess für eine Standard Arbeitshöhe simuliert und programmiert. Mit Hilfe der Humansimulation und einer Ergonomieanalyse wird geprüft, in welchen Arbeitshöhen der Prozess oberhalb und unterhalb der programmierten Standards ergonomisch sinnvoll und technisch durchführbar ist. Hierbei wird die Größe des Humanmodells variiert, um ein breites Spektrum an Mitarbeitern abzubilden. Aus den durchführbaren Prozessen werden im weiteren Verlauf Roboterprogramme erzeugt und in die Anlage überspielt. Über ein Bedienpanel hat der Schweißer die Möglichkeit, die für ihn geeignete Arbeitshöhe auszuwählen und kann entscheiden, ob er stehend oder, wenn technisch machbar, sitzend arbeiten möchte.

#### Roboterfeinpositionierung im laufenden Betrieb

Einer der beiden Handhabungsroboter soll durch den Bediener zum Ausgleich von Toleranzen in seiner Position und Orientierung intuitiv und ohne Kenntnisse in der Roboterprogrammierung veränderbar sein. Zwar handelt es sich hierbei um nur wenige Zentimeter bzw. zehntel Grad, dennoch kann zwar der Roboter im laufenden Prozess bewegt werden, nicht aber die durch das Programm vorgegebenen Punkte korrigiert werden.

Der Roboter wird nach einer Positionsänderung wieder auf die programmierten Punkte fahren. Des Weiteren muss bei der Mensch-Technik-Schnittstelle neben einer einfachen, zuverlässigen Bedienbarkeit durch einen Schweißer auch die Sicherheit für diesen in jedem möglichen Prozessschritt gewährleistet werden. Es ist beabsichtigt, die entstehende Positionsdifferenz zwischen gewünschter Position und „geteachten“ Roboterpositionen durch eine mechanische Ausgleichskupplung zu kompensieren, die eine Relativbewegung zwischen den Robotern während der Roboterbewegungen ermöglicht.

### RoboGasInspector

Im Projekt RoboGasInspector erfolgte die Systementwicklung iterativ in einem partizipativen Prozess. Das heißt, dass zukünftige Nutzer parallel zur Realisierung des Projekts dessen aktuellen Entwicklungsstand evaluieren und die Ergebnisse in die Realisierung rückgekoppelt werden. Dies stellt die Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz des Systems sicher.

Zur Erfassung des Nutzungskontextes wurde im Projekt RoboGasInspector Anlagenpersonal bei Anlagenprüfungen begleitet, wobei sie typische Arbeitsabläufe verbal erläuterten. Die erfassten Daten ermöglichen die



Gelände der PCK Raffinerie GmbH

Analyse der Arbeitsabläufe, Problemlösungsstrategien, Informationsflüsse und potentiellen Fehlerquellen der Ist-Prozesse. Aus der Analyse wurden Anforderungen an das System abgeleitet, die als Ausgangspunkt für die Gestaltung der Interaktion sowie der Benutzungsschnittstelle dienten. Erkannte Schwachstellen und Defizite der Ist-Prozesse konnten durch Assistenzfunktionen kompensiert werden.

Zur Überprüfung entworfener Lösungsansätze wurden Workshops mit Fachleuten, Evaluationen von Papier- und digitalen Prototypen durch künftige Nutzer sowie heuristische Evaluationen durch Experten durchgeführt. Durch Erfolgsbeurteilungen vorgegebener Aufgaben wurde die Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsschnittstelle sowie des Interaktionskonzeptes ermittelt. Die Ergebnisse wurden durch Anpassung des bisherigen Lösungsansatzes aufgegriffen. Eine abschließende Evaluation des Gesamtsystems durch künftige Nutzer unter realen Einsatzbedingungen ist geplant, um die Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz des entwickelten Systems zu prüfen.

Unabhängig von der Entwicklung eines tatsächlich einsetzbaren Systems gilt es, in der Forschung neue Interaktionsformen zu erproben. Im Projekt RoboGasInspector wurden dazu Untersuchungen bezüglich mono- und stereoskopischer Visualisierung in einem Head-Mounted-Display untersucht. Zur Videoaufnahme wurde ein Stereokamerasystem realisiert, das sich an den Verarbeitungsmöglichkeiten der menschlichen Wahrnehmung orientiert. Im Bezug auf die Teleoperation und Telemanipulation wurden körperbewegungsbasierte Steuerungskonzepte bis hin zu einer Gestensprache für die Mensch-Roboter-Interaktion betrachtet. Dies erscheint vor dem Hintergrund, dass eine Vielzahl an Funktionen zum Teil gleichzeitig gesteuert werden muss (zum Beispiel Ausrichtung von Roboter, Stereokamera und Manipulatorarm) vorteilhaft gegenüber konventionellen Eingabegeräten. Beispielsweise wurde in einem ersten Schritt die Steuerung des Kamerasystems an die Kopfbewegung des Operators gekoppelt und anhand von Suchaufgaben im Labor auf Gebrauchstauglichkeit untersucht. In der prototypischen Realisierung wird hierzu ein optisches Motion-Tracking-System eingesetzt, auf dessen Basis außerdem gestenbasierte Interaktionskonzepte für die

Teleoperation und Telemanipulation bis hin zu einer Gestensprache für die Mensch-Roboter-Interaktion untersucht werden sollen.

## marion

Zunächst wurde die bisherige Arbeitsweise (ohne Einsatz von marion) mit Hilfe von externen Beratern und Wissen aus dem Unternehmen CLAAS analysiert und der Ernteprozess selbst erfasst.

Nach der Identifizierung der „Schwachstellen“ im Arbeitsprozess wurden darauf abgestimmte Werkzeuge festgelegt, die den Nutzern die Arbeit erleichtern bzw. abnehmen sollten. Die einzelnen Werkzeuge sollen später zu einem Gesamtsystem zusammengefügt werden, welches den Ernteprozess effizient und weitgehend ohne Nutzereingriffe steuern kann.

Eine weitere Herausforderung war es, die Interaktion mit den einzelnen Werkzeugen bzw. dem Gesamtsystem so auf die Nutzergruppe und deren Umfeld abzustimmen, dass diese ohne besondere Einarbeitung mit diesen Werkzeugen umgehen können. Zu diesem Zweck wurden zunächst sogenannte Personas entwickelt, welche in plastischer Weise typische fiktive Nutzer des Systems abbilden, sodass diese beim Entwurf der Interaktion hinreichend berücksichtigt werden können. Hierauf basierend wurden außerdem Szenarien erstellt, welche die Interaktionen der Personas mit dem System beschreiben. Die Personas und Szenarien bildeten die Grundlage für die Erstellung von Use Cases, in welchen in einer strukturierten Form die Abläufe und Funktionen der Werkzeuge aus Nutzersicht beschrieben werden. Die erstellten Dokumente dienten als Ausgangspunkt, um Papier-Prototypen zu erarbeiten, die danach mit den späteren Nutzern evaluiert wurden. Ziel war es dabei, das marion-System so zu gestalten, dass es optimal auf die Nutzer und deren Nutzungskontext (wie z. B. die Umweltbedingungen und weitere äußeren Einflüsse) abgestimmt ist. Für die einzelnen Werkzeuge bedeutet dies, dass z. B. Buttons so gestaltet werden müssen, dass sie auch in schwankenden Fahrzeugkabinen gut zu bedienen sind, Warntöne auf Grund der langen Arbeitszeiten sowie weiterer bereits vorhandener Warntöne nur sehr

sparsam eingesetzt werden dürfen und Tag-/Nachtmodi verfügbar sind.

Im Rahmen der Modellierung tauchten weitere diverse Fragen auf, beispielsweise: Wie gestaltet man Übergänge zwischen automatischer und manueller Steuerung? Die Maschinenführer haben jederzeit die Möglichkeit, durch Lenken, Bremsen und Beschleunigen die Automatik abzuschalten bzw. zu übersteuern. Passiert dies z. B. während der sogenannten Parallelfahrt, muss das andere Fahrzeug umgehend reagieren.

Schwierig für die Mensch-Technik-Interaktion gestaltet sich auch die Aufrechterhaltung der Automatik bei schlechter Funkverbindung. Wenn eine Maschine längere Zeit keine Verbindung hat, ist sie nicht länger in der Lage, autonom zu handeln. Die Maschine muss dem Nutzer daher mitteilen, dass er handeln muss, da der Prozess sonst unterbrochen wird. Eine Analyse der Möglichkeiten, die der Nutzer hat, um in ein (teil-) autonomes System einzugreifen und dieses manuell zu steuern, sowie eine exakte Modellierung der einzelnen Systemzustände sollte dabei helfen, reibungslose Übergänge zwischen automatischer und manueller Steuerung zu schaffen.

Wenn man von Mensch-Technik-Interaktion spricht, spielt ebenso der Aspekt Sicherheit eine wichtige Rolle. Das zu entwickelnde System muss so angelegt sein, dass physische Schäden an Mensch und Maschine vermieden bzw. ausgeschlossen werden. Um mögliche Gefahrenquellen bereits bei der Entwicklung aufzuspüren, wurde die Notwendigkeit einer Gefahrenanalyse erkannt, mit dem Zweck, im fertigen System potenzielle Gefahrenquellen zu minimieren und Mechanismen zur Prävention von Bedienfehlern zu etablieren. Das marion-System soll später weitgehend autonom laufen, d.h. dem Nutzer werden die meisten seiner bisherigen Tätigkeiten abgenommen. Dennoch muss der Nutzer den Vorgang über die gesamte Dauer des Ernteprozesses (i. d. R. 10 Stunden und mehr) überwachen und falls nötig, eingreifen. Dies erfordert eine anhaltend hohe Konzentration, obwohl der Nutzer gerade durch den Einsatz unterstützender Systeme wie marion möglicherweise teilweise keine auslastenden Aufgaben hat. Außerdem besteht die Gefahr einer sogenannten „Fähigkeitserosion“, denn da die Nutzer

das System nur noch in Ausnahmesituationen manuell steuern müssen, lassen ihre Fähigkeiten bezüglich der Bedienung des Systems mit der Zeit nach. Um dem entgegenzuwirken, wird bei der Interaktionsgestaltung besonderen Wert auf die Selbstbeschreibungsfähigkeit und Lernförderlichkeit bzw. generell auf die Gebrauchstauglichkeit des Systems gelegt. Ziel ist es, dass der Nutzer das System auch bei geringer Nutzungshäufigkeit korrekt bedienen kann und sich dabei seiner Sache sicher ist.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist das Zusammenspiel des zu entwickelnden Systems mit bereits vorhandenen Komponenten. Auf den am Ernteprozess beteiligten Maschinen laufen auch ohne marion bereits mehrere andere Systeme, die auf ein oder teilweise zwei Monitoren dargestellt werden. Da das marion-System aus mehreren Einzelsystemen besteht, die je nach Tätigkeit aktiviert werden, gilt es einen Weg zu finden, um alle wichtigen Informationen sichtbar zu machen, ohne den Nutzer durch zu viele Anzeigen zu belasten bzw. zu verwirren. Aus diesem Grund soll ein Konzept entwickelt werden, das mehrere Anwendungen parallel verarbeitet und diese nur auf Wunsch bzw. bei entsprechenden Ereignissen anzeigt.

## LUPO

Die Hauptelemente des hybriden Simulators bilden die Demonstratoren (Cubes) für die relevanten Produktionsobjekte: Maschinen und Werkzeuge, Werkstücke und Werkstückträger sowie Förderstrecken. Ein Demonstrator wird über entsprechende Parameter als ein konkretes Produktionsobjekt konfiguriert. Durch das Zusammenspiel mehrerer Demonstratoren können Fertigungsabläufe simuliert werden. Relevante Umweltinformationen stehen mit Hilfe von Sensorik als Eingabeparameter zur Verfügung. Zur Umsetzung der Bewegung der mobilen Cubes (z. B. Werkstückträger) verbinden Förderstrecken aus einzeln ansteuerbaren, modular aufgebauten Rollenbahnsegmenten die nicht mobilen Demonstratoren.



LUPO: Werkstückmaschinenemonstrator mit dazugehörigem Werkstück

Die LUPO-Simulationsumgebung (LSE) kann zur Untersuchung unterschiedlicher Fragestellungen genutzt werden. Sie ist als Plattform konzipiert, die eine einfache und schnelle Modifikation der Aufgabenstellung erlaubt. Schnelle und flexible Konfiguration der Komponenten und deren Zusammenwirken erlaubt die Konzentration auf den Untersuchungs- oder Forschungsgegenstand (z. B. Wirtschaftlichkeitsüberprüfung von neuen Technologien und Strategien in Produktionssteuerung und Management).

Mögliche Ausgangslage ist die Erkenntnis, dass Fehler in den Prozessschritten auf schlechte Interaktion von Mensch und Maschine zurückzuführen sind (z. B. als Ergebnis der Istanalyse). Ziel ist folglich die Verbesserung der Mensch-Technik-Interaktion.

Mögliche Bereiche für Problemstellungen und Test-szenarios sind:

- Erhöhung der Partizipation im Change-management,

- Schulung im Umgang mit den Systemen der Produktionsanlage
- Training von Störungsszenarien
- Training im Umgang mit dem System zur Vermeidung von Bedienungsfehlern oder zur Vorbereitung auf den Umgang mit unvorhergesehen Situationen (Störungen, ...) verhindern die angesprochene Fähigkeitserosion der Akteure und erhöhen die Wahrscheinlichkeit von adäquaten Reaktionen in kritischen Situationen.
- Ergonomische Untersuchungen hinsichtlich der eingesetzten Benutzerinterfaces und Informationsbereitstellung während des laufenden Prozesses mit Verfügarmachung und Informationsaggregation decken Potenziale auf. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis zur Entwicklung von Lösungen.

Da bereits im Vorfeld der Einführung nach alternativen Lösungen im Umgang mit den Systemen oder der zukünftigen Anlage gesucht wird – und das unter

Beteiligung der Originalakteure oder durch Schulungsmaßnahmen – sind die Mitarbeiter auf die spätere Mensch-Technik-Interaktion optimal vorbereitet und können die Neuerungen besser umsetzen.

Das Vorhandensein physischer Objekte gestattet eine anschauliche und nachvollziehbare Darstellung der simulierten Prozesse und die umfangreiche Interaktion mit dem Benutzer. Dies beinhaltet sowohl die Verwendung originaler Benutzeroberflächen (GUI) als auch greifbares Feedback auf das Handeln des Akteurs (Werker, Rüster, ...).

Die Simulationsumgebung stellt dabei die Rahmenbedingungen zur Verfügung, die Untersuchung der Prozesse aufwandarm und ohne eine Störung des Originalprozesses durchzuführen. Weiterhin vermeidet die automatisierte Erhebung relevanter Analysedaten aufwändige manuelle Datenaufnahmen und gewährleistet zugleich eine qualitativ hochwertige und gleich bleibende Datenqualität. Um die Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, kann der Ablauf der Simulation gestoppt und die aktuelle Situation analysiert oder abgespeichert werden. Die komplette Simulationsumgebung kann durch Laden eines gespeicherten Zustands in eine definierte Ausgangssituation gebracht werden. So können Alternativen basierend auf dem gleichen Ausgangswerten simuliert oder Szenarios erneut durchgespielt werden.

## smartOR

Die Anzahl der technischen Systeme im Operationssaal nimmt stetig zu. In den meisten Fällen werden hierbei Medizingeräte genutzt, die proprietäre Protokolle verwenden. Die Bedienschnittstellen sind dabei von Gerät zu Gerät und von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.

Zur Reduzierung der Anzahl der unterschiedlichen Mensch-Maschine-Schnittstellen mit verschiedenen Bedienkonzepten und der Möglichkeit des Austausches und der integrierten Nutzung von Informationen ist ein neues Konzept für die Integration einer Arbeitsstation in den OP innerhalb des smartOR Projektes vorgestellt worden. Medizinprodukte von unterschied-

lichen Herstellern können nun basierend auf einer Service-orientierten Architektur (SOA) unter Berücksichtigung der in der IEC 80001 beschriebenen Risikoanalyseprinzipien vernetzt werden.

Dies kann jedoch auch zu erhöhten Risiken und Benutzerfehlern in der Mensch-Maschine-Interaktion führen. Je komplexer ein Produkt wird, desto schwieriger lassen sich insbesondere humaninduzierte Risiken erkennen. Das ist ein Problem, weil es Studien zufolge vor allem menschliche Fehlhandlungen sind, die zu kritischen Ereignissen bei Einführung und Einsatz technischer Geräte in der Medizin führen.

Auslöser für Benutzerfehler ist oft ein unzureichend auf Arbeitsaufgabe und -situation abgestimmtes Design von Arbeitsmitteln und -umgebung. Zur Verringerung dieser Risiken wird untersucht, welche Bedienkonzepte und Schnittstellen für die unterschiedlichen Anforderungen in integrierten OP-Systemen (IORS) notwendig sind.

Eine entwicklungsbegleitende Evaluierung des IORS Systems hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit ermöglicht es, schon frühzeitig Risiken und Schwachstellen zu identifizieren. Mit Hilfe der am Lehrstuhl für Medizintechnik der RWTH Aachen entwickelten modellbasierten mAIXuse-Methodik lassen sich bereits im Rahmen der Definitionsphase frühzeitig benutzerinteraktive Prozessschritte modellieren und deren möglicher Einfluss auf den Gesamtprozess bewerten. Der Anwender kann mit mAIXuse aber auch bestehende Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie Interface-Prototypen optimieren und im Rahmen des Validierungsprozesses bewerten.

Mit Hilfe der mAIXuse Vorgehensweise und Anwendung auf die IORS bzw. deren Bedienschnittstellen werden die unterschiedlichen Bedienkonzepte und Schnittstellenprototypen untersucht.

Auch die Methodiken „Thinking aloud“ und die Anwendung der Gestaltungsprinzipien wurden bei der Bewertung der Schnittstellen eingesetzt.

Im Rahmen der softwarebasierten mAIXuse Anwendung werden mit einfach anzuwendenden graphi-

schen Werkzeugen alle zu untersuchenden (kritischen) Mensch-Maschine-Interaktionen modelliert und in Teilprozesse zerlegt. Diese lassen sich anschließend mit Hilfe vordefinierter zeitlicher und informationsbezogener Abhängigkeiten miteinander in Verbindung bringen und in einer netzähnlichen Struktur abbilden.

Auf Basis festgelegter Fehlerklassen, welche z. B. aus verschiedenen Taxonomien bezüglich menschlicher Fehler abgeleitet wurden, können schließlich systematisch potenzielle Risiken in den einzelnen Phasen der Mensch-Maschine-Interaktion identifiziert werden. Die Methodik des „Thinking aloud“ ist eine Variante des Usability-Tests und bezeichnet im Wesentlichen erst einmal das laute Denken von Probanden bei der Anwendung eines zu testenden Produktes.

Die Norm DIN EN ISO 9241-10 bzw. -110 beschreibt die ergonomischen Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, wobei der hier wichtige Teil 110 die Grundsätze der Dialoggestaltung, bezogen auf die Ergonomie von Mensch-Maschine-Interaktionen, beinhaltet. Anhand dieser Grundsätze können Mensch-Maschine-Schnittstellen von Produkten einer Fehleranalyse unterzogen werden.

Die Verfahren wurden auf den ersten Prototyp eines modularen IORS angewandt, um schon in der ersten Entwicklungsphase Bedienbarkeitsdefizite herauszufiltern und die Mensch-Maschine-Interaktion vor allem hinsichtlich sicherheitskritischer Bedienrisiken zu untersuchen.

Im Rahmen der Analyse wurde zunächst der Nutzungsprozess des Anwenders mit der IORS innerhalb der mAIXuse Vorgehensweise modelliert und anschließend auf potentielle Fehler innerhalb des Informationsverarbeitungsprozesses untersucht.

Die mAIXuse Analyse umfasst potentielle Risiken im Wahrnehmungsprozess (visuell, auditiv, taktil...), im kognitiven Verarbeitungsprozess (sensomotorische, regelbasierte und wissensbasierte Handlungsregulationsebene) sowie im Rahmen der motorischen Aktion (Fehlerklassifikation nach dem äußeren Erscheinungsbild).

Die Analysen ermöglichten die Detektion einiger bisher unentdeckt gebliebener (teilweise risikosensitiver) Gestaltungsfehler. Zudem konnten die Ursachen für bereits häufiger aufgetretene Bedienfehler mit der IORS ermittelt und Gegenmaßnahmen abgeleitet werden.

Es wurde gezeigt, dass mit Hilfe einer frühzeitigen Anwendung der systematischen mAIXuse Methodik zahlreiche (u.a. versteckte) Bedienfehler des ersten Prototyps der IORS bzw. der Bedienschnittstellen herausgefiltert werden konnten.



