

1

Einleitung

“Begin at the beginning,” the King said, gravely, “and go on till you come to an end; then stop.”

– Lewis Carroll, *Alice in Wonderland*

1.1 Motivation

Die gestiegenen Anforderungen an kundenindividuelle Produktion, begünstigt durch den technologischen Fortschritt, führen zu einem voranschreitenden Einzug von Informations- und Kommunikationstechnologien in Prozesse und Produktionsstätten. Zudem erfolgt eine Vernetzung innerhalb der intelligenten Fabriken, basierend auf *Cyberphysischen Systemen* (CPS)¹. Mit dem sich daraus ergebenden steigenden Automatisierungsgrad in der – seitens *acatech* (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) ausgerufenen – vierten industriellen Revolution, der Industrie 4.0, geht ein Anstieg der Komplexität der Technologien und Systeme einher [KJM16].

Der Einzug von Technik in Fabriken und Produktionsstätten und damit verbunden die Automatisierung von Fertigungsprozessen führte stets zu einer Veränderung des Verhältnisses zwischen Mensch und Technik. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts etablierte sich der vor allem durch die amerikanische Automobilindustrie getriebene Grundgedanke der Automatisierung – die Menschenlosigkeit der Prozesse, wie sie *Dolezalek* [Dol66] postulierte. Hierdurch entstand eine Automatisierungsdebatte, welche sich mit dem Menschen selbst, seinem Verhältnis zu der Technik und seinem Selbstverständnis in der technifizierten Welt befasste. Einerseits wurde der Mensch als der Maschine unterlegen dargestellt. Durch seine Fehlerhaftigkeit und die geringere Reaktionsgeschwindigkeit aufgrund von menschlich schwankenden

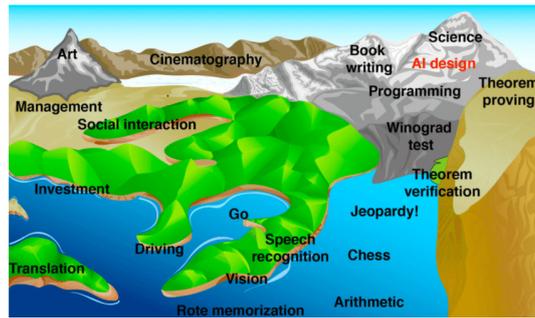
¹ Cyberphysische Systeme zeichnen sich durch die Verbindung von eingebetteten Systemen, ausgestattet mit Sensoren und Aktuatoren, über Kommunikationseinrichtungen zu digitalen Netzen aus [Bro10].

Aufmerksamkeitsniveaus wurde der Mensch als unvollkommen wahrgenommen. Die Maschine hingegen könne durch Präzision und Geschwindigkeit eine höhere Qualität und Leistung bieten und somit den Menschen ersetzen. Die andere Sichtweise der Debatte führte die positiven Effekte der Automatisierung auf. So wurde der Mensch sowohl als Schöpfer der Maschinen als auch als Herrscher über sie dargestellt und damit seine postulierte Sonderstellung in der Welt unterstrichen. Im Kontrast zu einer Ersetzung des Menschen in der Fabrik wurde die Vermenschlichung der Fabrik beschrieben. Der Mensch könne sich so vom Takt der Maschinen entbinden und es käme zu einer Enttaylorisierung. Arbeit würde wieder menschenwürdig sein. Beide Vorstellungen – die Ersetzung des Menschen und die Vermenschlichung der Arbeit – traten in ihrer Gänze nicht ein. Einerseits waren Maschinen nicht in der Lage, den Menschen ganz aus der Fabrik zu verdrängen. Andererseits führte das „Herrschen“ über die Maschine nicht zu einer Glorifizierung der menschlichen Arbeit. Stattdessen traten zum Teil Langeweile, Einsamkeit und nervliche Belastungen bei den an körperliche Arbeit gewöhnten Arbeitenden auf. [Hes15]

Trotz des Scheiterns der reinen automatisierten Fabrik in den 1950er und 1960er Jahren löste die Automatisierungsdebatte einen Wandel im Bild der Arbeitenden und des Verhältnisses zwischen Mensch und Technik aus. Die voranschreitende Automatisierung in den 1980er Jahren prägte erneut die Vision der menschenleeren Fabrik, der computerintegrierten Fertigung (engl. *computer-integrated manufacturing*, kurz CIM). Damit verbundene positive Vorstellungen, wie der Wohlstand der Gesellschaft und die Bequemlichkeiten des Einzelnen, gingen mit den Zukunftsängsten der Menschen und der Befürchtung des Endes der Arbeitsgesellschaft einher. Ebenfalls existierte kein einheitliches Verständnis der Rolle, welche der Mensch in der automatisierten Arbeitswelt annehmen soll. Einerseits wurde er in seiner Vorreiterrolle als geistiges Wesen entmündigt und in seiner Position als Steuernder der Prozesse entmachtet. Andererseits trat die Vision eines alles kontrollierenden Akteurs in den Vordergrund. Gleichermaßen zeigten Automatisierungsansätze, was Technik (noch) nicht leisten kann. [Heß19a]

Mit der stetigen Weiterentwicklung von Technik geht ebenfalls ein stetiger Wandel im Verhältnis zwischen Mensch und Technik einher. In den Anfängen waren Maschinen lediglich in der Lage, einige körperliche Tätigkeiten des Menschen durchzuführen. So wurde beispielsweise im 19. Jahrhundert die menschliche Handarbeit durch Webmaschinen ersetzt. Im 20. Jahrhundert, im Zuge der Automatisierungsdebatte, stand die Ersetzung von geistigen Fähigkeiten des Menschen durch Technik im Vordergrund. So wurden Kontrollfunktionen und Prozesssteuerungen durch Maschinen automatisch durchgeführt. [Heß19b] Selbst heutzutage nach weiteren Fortschritten sowohl in der Hardware – bspw. leistungsfähigere Prozessoren – als auch in der Software – Einsatz von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) – kann Technik nicht alle körperlichen und geistigen Fähigkeiten des Menschen ersetzen. In Abbildung 1.1 werden diverse Bereiche aufgezeigt, die bereits von Software gelöst werden, wie zum Beispiel Arithmetik oder Schach. Über die verschiedenen Landschaftsprofile werden die Bereiche, die bald, und jene, die nicht in naher Zukunft von Computern ganzheitlich beherrscht werden können, dargestellt. [Teg18] Hieraus wird ersichtlich, dass u. a. in Bereichen, in denen menschliche Emotionen angesprochen

Abb. 1.1 Hans Moravecs Landschaft menschlicher Fähigkeiten zeigt über die Berge an, welche Bereiche von Computern schwierig umgesetzt werden können. Der Wasserpegel stellt die bereits von Technik durchführbaren Fähigkeiten dar. [Teg18]



werden, wie das Schreiben von Büchern oder das Malen, die Technik den Menschen derzeit nicht ersetzen kann. Dennoch ist ein deutlicher Wandel des Verhältnisses zwischen Mensch und Technik zu erkennen. Nachdem in den vorherigen Jahrzehnten der Vergleich zwischen Mensch und Technik hinsichtlich körperlicher und geistiger Tätigkeiten – also Hand und Gehirn des Menschen – im Vordergrund stand, wird nun ebenfalls der Vergleich der menschlichen und maschinellen Emotionen betrachtet. Beispielsweise wird ergründet, inwieweit maschinell hervorgerufene Emotionen im Bereich der Therapie zum Einsatz kommen können. [Heß19b]

Nicht jegliche Arbeitsschritte des Menschen können (derzeit) durch Technik abgebildet werden, sodass der Mensch weiterhin mit seinen sensorischen und kognitiven Fähigkeiten einen essenziellen Bestandteil heutiger Fabriken darstellt [HKIJ15]. Im Gegensatz zu den vorherigen Automatisierungsdebatten aus den 1950er und 1980er Jahren wird der Mensch in der Industrie 4.0 als wichtiger Bestandteil anerkannt. Die Technik ersetzt den Menschen nicht und der Mensch ist weder nur eine Produktionseinheit noch nur Kontrolleur der Technik – beide arbeiten zusammen [Heß19a], [Tza09]. Dies hat zur Folge, dass die Gestaltung der Arbeit einer ganzheitlichen Betrachtung der Faktoren Mensch, Technik und Organisation bedarf [DWB⁺18].

Vor allem der Mensch nimmt in der heutigen Automatisierung eine zentrale Rolle ein. Derzeitige Forschung setzt sich mit den menschlichen Faktoren tiefergehend auseinander. Die Adaptivität von Technik an die mentalen und physischen Anforderungen des Menschen ist wesentlich für heutige Konzepte der Mensch-Technik-Interaktion [HJP⁺13]. Hierbei wird betrachtet, wie Technik und Prozesse angepasst werden müssen, um die Arbeit des Menschen und die Fabriken an sich humaner zu gestalten [Tza09]. Nur so kann ein effizienter Betrieb gewährleistet werden und können neue Möglichkeiten zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit entstehen [RNS⁺15].

Besonders die Kommissionierung eignet sich hier als Forschungsrahmen. Trotz diverser technischer Möglichkeiten zur Hochautomatisierung ist sie durch primär manuelle Prozesse geprägt [Fra17]. Zudem nimmt sie als Teilprozess der Intralogistik mit bis zu fünf Prozent des Umsatzes eines Unternehmens einen kostentechnisch hohen Stellenwert ein [Pul09]. Der Einzug verschiedenster Technologien von Assistenzsystemen, wie Pick-by-Vision, bis hin zu Fahrerlosen Transportfahrzeugen in der Intralogistik dient hierbei der Unterstützung des Kommissionierers.

1.2 Problemstellung

Die steigende Komplexität der Technologien und Systeme lässt sich nicht länger mittels herkömmlicher Benutzerschnittstellen und Bedienweisen beherrschen, sodass die Entwicklung und der Einsatz neuartiger Interaktionsformen zwischen Mensch und Technik notwendig sind. Aufgrund des demografischen Wandels führt die sich in den nächsten Jahrzehnten in Deutschland sowie auch in anderen industrialisierten Volkswirtschaften weitende Altersspanne der Mitarbeitenden zu einer Spreizung des Wissensstands über Technik und den Umgang mit der verschiedenen Technik in den Fabriken. [JKM⁺17b] Laut dem *Statistischen Bundesamt* wird sich bis in das Jahr 2030 der Anteil der Menschen über 65 Jahren um 33 Prozent erhöhen [Sta11]. Der steigende Anteil der älteren Menschen an der Gesellschaft führt in den nächsten zehn Jahren zu einer Veränderung der Altersstruktur der Mitarbeitenden in den Unternehmen. Die divergierende Erfahrungsbasis mit Technik stärkt die Forderung nach neuen und vor allem intuitiven Interaktionsschnittstellen.

Für die Schnittstellengestaltung sowie die Entwicklung der Techniksysteme an sich reicht eine reine Betrachtung von anwendungsspezifischen Anforderungen nicht aus. Zusätzlich bedarf es der Beachtung der physischen und psychischen Belastungen der mit dieser Technik interagierenden Menschen. Somit beinhaltet der Entwicklungsprozess von Mensch-Technik-Systemen zum einen auf der Mikroebene gestaltungsspezifische Untersuchungen, um die direkte Interaktion zwischen Mensch und Technik zu erleichtern. Auf der Makroebene müssen hingegen die Anforderungen und Anpassungen der arbeitsorganisatorischen Prozesse analysiert werden, sodass das Zusammenspiel und die Aufgabenverteilung zwischen Menschen und Techniksystemen neugestaltet werden können. Diese Betrachtungsweise lässt sich in der Hierarchie der Gestaltungsebenen von sozio-technischen Systemen nach Hacker wiederfinden (vgl. Abbildung 1.2). Auf der obersten Ebene werden Aspekte zur Arbeitsorganisation wie Aufgabeninhalte und die menschliche Arbeitsteilung hinsichtlich der menschlichen

Abb. 1.2 Hierarchie der Gestaltungsebenen nach [Hac87]



Leistungsfähigkeit erörtert. Auf der zweiten Ebene wird die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine eruiert und Automatisierungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der obersten Hierarchie abgeleitet. Abschließend werden auf der unteren Ebene Fragestellungen zu Interaktionsformen der Mensch-Technik-Interaktion detaillierter betrachtet. [Hac87] Im Zuge des Einsatzes von CPS ist eine trennscharfe Funktionsteilung zwischen Mensch und Technik nicht zwangsweise sinnvoll, sodass die Anwendbarkeit dieser Ebenen nicht länger gegeben ist. Des Weiteren fehlt in diesen Gestaltungsebenen die Fokussierung auf den Mitarbeitenden als Individuum mit seinen diversen Fähigkeiten, unterschiedlichen Erfahrungsschätzen mit Technik und seinem tagesspezifischen Verhalten.

1.3 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit möchte einen Beitrag zur maschinellen Integration in sozio-technische Systeme leisten. Im Zuge der entstehenden *Social Networked Industry* (SNI) [tPN16], in der Menschen und Maschinen sowie Cyberphysische Systeme in sozialen Netzen in Unternehmen und über Unternehmensgrenzen hinaus miteinander kommunizieren und kooperieren, wird eine Verschmelzung zwischen den Arbeiten von Menschen und Technik erfolgen. Eine Fokussierung zurück auf den Menschen und seine Bedürfnisse und damit die Schaffung einer humaneren Fabrik stellen Forschungsziele im Bereich der SNI dar. Bestehende Gestaltungsebenen sozio-technischer Systeme müssen ganzheitlich betrachtet und überdacht werden. So sieht *Johannsen* nicht nur die Beherrschbarkeit, sondern auch die Arbeitszufriedenheit als wesentliches Ziel bei der Gestaltung von sozio-technischen Systemen. Ein höheres Ziel stellt für ihn die Sozialverträglichkeit „... und zwar im Sinne der Einbindung des Mensch-Maschine Systems in einen größeren sozialen Zusammenhang“ dar [Joh13].

Nicht länger finden aus organisatorischer Sicht die Aufgabenverteilung und die Arbeitsteilung nur zwischen Mensch und Mensch statt. Vielmehr wird die reine Funktionsteilung zwischen Mensch und Technik um Organisationsgrundkonzepte erweitert. Die digitale Vernetzung zwischen Mensch und Maschine und der damit verbundene ubiquitäre Informationsfluss ermöglichen ein kooperatives oder gar kollaboratives Handeln, indem Menschen und Maschinen dieselben Funktionen durchführen oder gemeinsam an einer Aufgabe arbeiten.

Ausgehend von diesen neuen Denkanstößen der derzeitigen Automatisierungsdebatte wird in dieser Arbeit ein Konzept für die Gestaltungsebenen sozio-technischer Systeme aufgestellt, welches auf den im Fokus der Arbeit stehenden Entwicklungsprozess eines ersten sozialen Transportfahrzeugs in der Intralogistik angewendet wird. Die Gestaltung der Interaktion ebendieses Fahrzeugs mit dem Menschen dient als Untersuchungsgegenstand und ermöglicht die Ableitung von Anforderungen zur Gestaltung neuartiger Formen der Mensch-Technik-Interaktion. Die Entwicklung des sozialen Transportfahrzeugs unterliegt hierbei drei primären Forschungsfragen.

Forschungsfrage 1

Wie muss die Organisation sozio-technischer Systeme im Zuge der Industrie 4.0 für die Intralogistik gestaltet sein?

Im Rahmen der ersten Forschungsfrage gilt es zunächst, Ansätze im Bereich der dezentralen Organisation von technischen Systemen wie auch von sozialen Systemen näher zu betrachten. Die Rolle des sozialen Handelns im organisationspezifischen Kontext soll hierbei erörtert werden. Davon ausgehend müssen Anforderungen und wesentliche Eigenschaften identifiziert werden, welche der Konzeptionierung der dezentralen Organisation für sozio-technische Systeme in der Intralogistik zugrunde gelegt werden können. Zudem sollen Möglichkeiten zur einfachen Integration des Menschen in bestehende technische Systeme wie Multiagentensysteme aufgezeigt werden und Erweiterungen der damit verbundenen Aufgabenverteilung konzipiert werden.

Forschungsfrage 2

Wie muss die Mensch-Technik-Interaktion in sozio-technischen Systemen im Zuge der Industrie 4.0 für die Intralogistik gestaltet sein?

Die zweite Forschungsfrage befasst sich mit der Schnittstellengestaltung zur Interaktion zwischen Mensch und Technik am Beispiel des sozialen Transportfahrzeugs. Hierzu wird zum einen auf die Wahrnehmungsprozesse und Kognition des Menschen eingegangen und die nonverbale Interaktion zwischen Menschen näher betrachtet, um soziale Normen und soziale Verhaltensweisen des Menschen abzuleiten. Des Weiteren wird die Informationsübermittlung in Mensch-Technik-Systemen und bereits existierenden sozialen Robotersystemen hinsichtlich notwendiger Eigenschaften für das soziale Transportfahrzeug analysiert. Für die Evaluierung des hier entwickelten Systems werden zudem entsprechende Ansätze zur Beurteilung der Mensch-Technik-Interaktion, wie bspw. diverse Fragebögen zur Benutzerfreundlichkeit, betrachtet. Hieraus lassen sich Empfehlungen für die Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion in sozio-technischen Systemen ableiten, um einen verallgemeinerbaren Lösungsansatz zu schaffen.

Forschungsfrage 3

Wie kann sich die Technik in sozio-technischen Systemen an die individuellen Bedürfnisse und Fähigkeiten des jeweiligen Interaktionspartners anpassen?

Für die letzte Forschungsfrage nimmt die Adaptivität der Technik eine Schlüssel-funktion ein. Zunächst soll die Notwendigkeit der Differenzierung im Verhalten mit unterschiedlichen Menschen auf physischer und auf kognitiver Ebene geprüft werden. Anschließend sollen Ansätze zur Reduktion derartiger Belastungen für das hier entwickelte soziale Transportfahrzeug aufgezeigt werden.