

Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle

Linda Onnasch¹, Xenia Maier¹, Thomas Jürgensohn¹

baua: Fokus

Sowohl in der Industrie als auch im Servicebereich ist ein verstärkter Einsatz von Robotern in unmittelbarer Interaktion mit dem Menschen zu beobachten. Die konkreten Anwendungsbereiche als auch Interaktionsformen sind dabei vielfältig. Um trotzdem einen strukturierten Vergleich zu ermöglichen, ist eine Taxonomie notwendig, die einerseits generisch genug ist um auf verschiedenste Mensch-Roboter-Interaktions-Szenarien anwendbar zu sein und auf der anderen Seite spezifisch genug ist, um die Analyse übergeordneter Merkmale zu ermöglichen. In diesem Artikel wird die Entwicklung einer Taxonomie vorgestellt, die beide Kriterien erfüllt.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Bisherige Klassifizierungsansätze.....	3
3	Ableitung der Interaktionstaxonomie der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit	4
3.1	Die Interaktionsklassifikation.....	4
3.2	Die Roboterklassifikation	6
3.3	Die Teamklassifikation	9
3.4	Grafische Unterstützung der Kategorisierung konkreter MRI-Szenarien.....	10
4	Zusammenfassung	11
5	Literatur.....	11

1 Einleitung

Die Idee einer Zusammenarbeit von Mensch und Roboter wird aktuell in den verschiedensten Anwendungsbereichen diskutiert. Während noch vor 20 Jahren das Feld der Robotik hauptsächlich durch Industrieroboter bestimmt wurde, unterstützen Roboter den Menschen heutzutage in Bereichen wie dem Katastrophenschutz, bei medizinischen Operationen oder auch nach wie vor im Bereich der industriellen Produktion. Im Vergleich zu herkömmlichen Industrierobotern unterscheidet sich ein Teil der neuen Robotergeneration in der Zusammenarbeit mit dem Menschen. Roboter sind nicht mehr automatisch durch Schutzzäune vom Menschen getrennt, es gibt auch eine direkte Interaktion zwischen Mensch und Roboter. Da eine direkte Interaktion auch immer ein Gefährdungspotential für den menschlichen Partner bedeutet, werden neue Anforderungen an solche Systeme gestellt. Um mögliche Verletzungen durch den Roboter zu vermeiden, wird auf verschiedene Sicherheitsfunktionen

¹ Human Factors Consult GmbH

gesetzt. Zeichneten sich herkömmliche Industrieroboter durch Schnelligkeit, aber auch schwere Massen und extreme Steifigkeit aus, haben interaktionsfähige Roboter nur wenige Kilogramm Kollisionsmasse, "weiche" Ecken und Kanten (abgerundet oder mit Schaumstoff umhüllt) und sind nicht schneller als der Mensch, um neben der dadurch erreichten Sicherheit eine echte adaptive Zusammenarbeit zu ermöglichen.

Neben der äußeren Gestaltung sind es Schutzmechanismen im Verhalten des Roboters, die das Gefährdungspotential gering halten. Die einfachste, allerdings auch relativ primitive Funktion ist dabei das Abschalten bzw. Anhalten des Roboters bei physischem Kontakt. Auch wenn auf diese Weise eine Verletzung des Menschen vermieden wird, steht dies einer echten Zusammenarbeit von Mensch und Roboter entgegen. Besonders in Bereichen, in denen ein physischer Kontakt zwischen Mensch und Roboter sogar vorgesehen ist, sind raffiniertere Lösungen gefordert. Diese beinhalten vor allem die Idee einer echten Verhaltensadaptivität des Roboters an den Menschen bzw. an die aktuellen Situationserfordernisse.

Wir finden heute eine enorme Vielfalt von Robotern, sowohl in Bezug auf ihre Gestalt als auch in Bezug auf Anwendungsbereich oder Interaktionsform. Um trotzdem einen strukturierten Vergleich zu ermöglichen, ist eine Taxonomie notwendig, die einerseits generisch genug ist um auf verschiedenste Mensch-Roboter-Interaktions-Szenarien anwendbar zu sein und auf der anderen Seite spezifisch genug ist, um die Analyse übergeordneter Merkmale zu ermöglichen. In diesem Artikel wird die Entwicklung einer Taxonomie vorgestellt, die beide Kriterien erfüllt.

HINTERGRUND

Die Vielfalt von Arbeitsformen und Arbeitssystemen insbesondere im Kontext neuer Technologien nimmt stetig zu. Dies betrifft beispielsweise die Interaktion von Menschen und Robotern. Im Unterschied zu klassischen Industrierobotern ermöglichen neue kollaborative Robotersysteme eine direkte Zusammenarbeit von Mensch und Roboter in einem geteilten Arbeitsraum. Auch im Dienstleistungsbereich gibt es zahlreiche neue Möglichkeiten für den Einsatz von Robotern. Eine systematische Betrachtung der jeweiligen Auswirkungen ermöglicht trotz dieses breiten Spektrums möglicher Interaktionen zwischen Mensch und Roboter, das Potenzial für vorausschauende, menschengerechte Arbeitsgestaltung umfassend zu nutzen.

Im Rahmen eines Teilvorhabens des Projektes "Mensch-Roboter-Teams (F2369)" der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) wurde die vorliegende übergeordnete Taxonomie der Mensch-Roboter-Interaktion entwickelt, welche bei der Analyse und Bewertung bestehender und zukünftiger Arbeitssysteme unterstützen soll. Ausgehend von der Taxonomie werden künftig in dem Forschungsprojekt grundlegende Aspekte der Zusammenarbeit mit Robotern (ethisch, rechtlich sowie technisch) erarbeitet, kognitive Grundlagen (z. B. mentale Beanspruchung bei verschiedenen Interaktionsformen) untersucht und Kriterien einer menschengerechten Gestaltung der Interaktion abgeleitet.

Ansprechpartnerin:
Britta Kirchhoff
Wissenschaftliche Leitung Fachbereich 2 "Produkte und Arbeitssysteme"
kirchhoff.britta@baua.bund.de

2 Bisherige Klassifizierungsansätze

Auch wenn im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) bereits einige Klassifizierungsansätze zu finden sind, gibt es bisher keine allgemein akzeptierte MRI-Taxonomie. Viele der angedachten Klassifikationen wurden von Taxonomien aus ähnlichen Feldern beeinflusst, wie HCI (Human-Computer-Interaction, z. B. Scholtz, 2002) oder CSCW (Computer Supported Cooperative Work; z. B. Zeit-Raum-Taxonomie, Ellis, Gibbs, & Rein, 1991). So postuliert Scholtz (2002) in Anlehnung an die HCI fünf Rollenmodelle, die der Mensch in der Interaktion mit Robotern einnehmen kann. Die Rolle des Supervisors ist hierbei an Sheridan und Verplank (1978) angelehnt, die diese Rolle bereits in der Interaktion mit automatisierten Systemen beschrieben haben. Charakteristisch hierfür ist, dass der Mensch aus dem eigentlichen Arbeitsprozess eliminiert und zu einem passiven Beobachter der eigentlichen Tätigkeit wird. Nur wenn nicht-intendierte Zustände auftreten, greift der Supervisor ein, um entsprechende Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

Darüber hinaus definiert Scholtz (2002) für die Zusammenarbeit mit Robotern noch vier weitere Interaktionsrollen. So kann ein Mensch als Operateur des Roboters auftreten, also den Roboter aktiv steuern, als Mechaniker interagieren oder auch als echter Teampartner mit dem Roboter zusammenarbeiten. Diese Rolle impliziert, dass die Beziehung zwischen Mensch und Roboter äquivalent zur Mensch-Mensch-Interaktion in Teams ist. Auf dieser Ebene geht es laut Scholtz (2002) vor allem um die Abstimmung gegenseitiger Aktionen zur Zielerreichung. Als letzte Rolle beschreibt Scholtz (2002) noch den Menschen als Nicht-Beteiligten am Arbeitsprozess. In dieser Rolle gibt es keine explizite Interaktion mit dem Roboter. Allerdings besteht dennoch die Notwendigkeit einer mentalen Repräsentation vom Roboter, da sich Roboter und Mensch den gleichen physischen Raum teilen. Diese letzte Kategorie spiegelt den Einsatz von Robotern wider, die autonom Aufgaben ausführen, dabei aber nicht durch Schutzzäune vom Menschen getrennt sind. Auch wenn die Interaktionsrollen von Scholtz detailliert beschrieben werden, ist diese Klassifikation für die MRI nicht ausreichend, da die Interaktion selbst als auch Charakteristika des Roboters nicht weiter spezifiziert werden. So sind z. B. Aussagen über die Kommunikationsform von Mensch und Roboter oder über Charakteristika des Roboters, die auch wesentlich für die Interaktionsart sind, in der Klassifizierung nicht vorhanden.

Einen weiteren Klassifikationsansatz der MRI liefern Yanco und Drury (2002, 2004). Sie übernehmen die von Scholtz postulierten Interaktionsrollen als eine Kategorie, beschreiben darüber hinaus aber noch zehn weitere Kategorien, die sich auf die Interaktion als auch auf Charakteristika von Robotern beziehen. Während einigen Kategorien wie z. B. der Morphologie des Roboters, feste Ausprägungen zugeordnet und diese auch einfach anzuwenden sind, gibt es andere Kategorien in der Taxonomie, die entweder keine standardisierten Ausprägungen haben (Aufgabentyp) oder aber nur schwer auf tatsächliche MRI-Szenarien zu übertragen sind (z. B. Autonomielevel des Roboters als prozentuale Angabe). Andere von Yanco und Drury aufgestellte Kategorien sind wiederum nicht für alle Arten von Robotern bzw. Interaktionsformen relevant. Dies betrifft vor allem die Kategorie der Entscheidungsunterstützung des Operateurs, welche noch in drei weitere Subkategorien (ohne standardisierte Ausprägungen) aufgliedert wird. Die Entscheidungsunterstützung als kognitive Aufgabe stellt in den wenigsten Fällen das primäre Ziel einer MRI dar, da Roboter vor allem manuelle Tätigkeiten übernehmen. Kognitive Aufgaben verbleiben in der Regel beim Menschen oder werden von automatisierten Assistenzsystemen übernommen.

Weitere Klassifizierungsansätze beziehen sich häufig nur auf bestimmte Aspekte der Interaktion zwischen Roboter und Mensch. So haben z. B. Beer und Kollegen (2014) ein sehr

detailliertes Rahmenmodell zum Autonomiegrad von Robotern aufgestellt. Für diesen Aspekt, der wesentlich für die MRI und für die Entwicklung von Robotern ist, liefert das Modell gute Hilfestellung. Allerdings bleibt das Modell auf den Autonomiegrad beschränkt und gilt darüber hinaus nur für Serviceroboter, eine Überprüfung der Generalisierbarkeit steht aus.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bisherige Taxonomien zwar mögliche Ansätze für Teilaspekte darstellen, die Anforderung einer möglichst hohen Generalisierbarkeit auf verschiedenste Formen der MRI bei gleichzeitig hohem Detailgrad aber nicht erfüllen. Ziel dieses Beitrags ist es, eine Taxonomie für die Spezifizierung der MRI vorzustellen, welche auf den bisherigen MRI-Taxonomien basiert, diese jedoch so erweitert, dass die vorab genannten Kriterien erfüllt werden.

3 Ableitung der Interaktionstaxonomie der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit

Die Entwicklung erfolgte anhand von Leitfragen, die durch Anwendung der Taxonomie auf konkrete MRI-Szenarien beantwortet werden sollen. Diese Leitfragen strukturieren den Taxonomieaufbau. Danach ergeben sich drei Klassifikationscluster, die den Rahmen der Taxonomie bilden. Diese sind zusammen mit den zu beantwortenden Fragen in Abbildung 1 dargestellt und werden im Folgenden detailliert beschrieben.

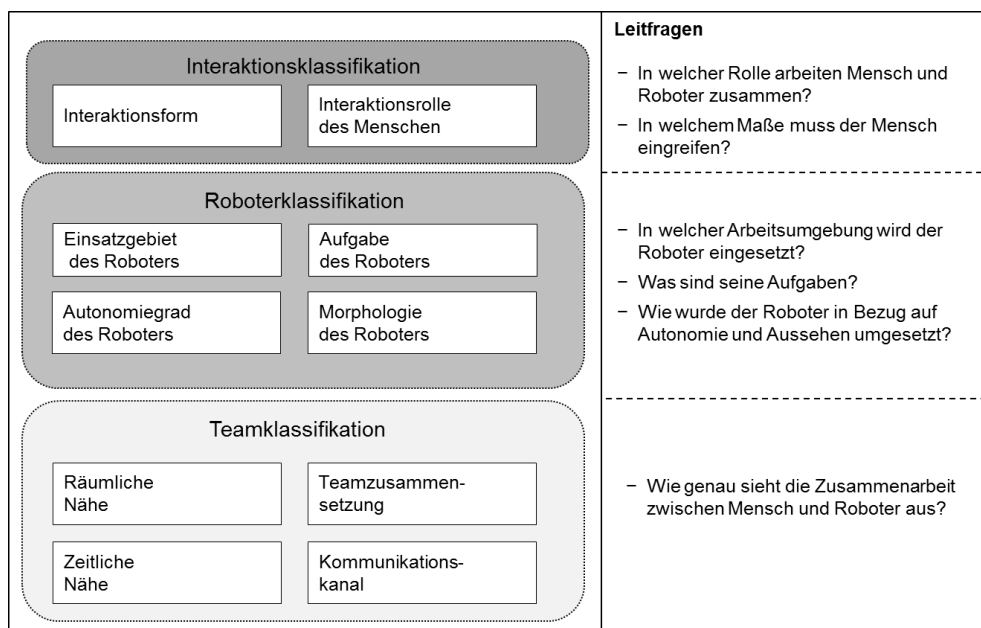


Abb. 1 Schematische Darstellung der neu entwickelten Taxonomie der MRI inklusive Leitfragen

3.1 Die Interaktionsklassifikation

Die Interaktionsklassifikation (s. Abbildung 2) beschreibt die hierarchische Struktur innerhalb der MRI. Diese wird anhand zweier Variablen dargestellt: der Interaktionsform und der Rolle des Menschen. Ziel ist, die Positionen der Mitglieder innerhalb der MRI herauszuarbeiten.

Die Interaktionsform zwischen Mensch und Roboter wird in der vorliegenden Taxonomie über die Ausprägungen Kollaboration, Kooperation und Ko-Existenz beschrieben. Diese sind angelehnt an die Kategorisierung der MRI von Surdilovic und Kollegen (2015).

<u>Interaktionsform</u> <u>Mensch ↔ Roboter</u>	<u>Interaktionsrolle des</u> <u>Menschen</u>
Kollaboration Kooperation Ko-Existenz	Supervisor Operateur Kollaborateur Kooperateur Nicht-Beteiligter

Abb. 2 Die Interaktionsklassifikation

Die Ausprägung Ko-Existenz beschreibt ein episodisches Treffen von Mensch und Roboter, die Interaktion ist zeitlich und räumlich sehr begrenzt. Bei dieser Interaktionsform gibt es keine gemeinsame Zielstellung, an welcher Mensch und Roboter arbeiten. Zweck der Interaktion ist die Vermeidung. Ein Beispiel für eine Ko-Existenz ist die Interaktion von Besuchern in einem Krankenhaus (Nicht-Beteiligte), die auf dem Flur einem Transportroboter begegnen. Besucher und Roboter verfolgen nicht das gleiche Ziel, müssen sich aber kurzfristig koordinieren um eine mögliche Kollision zu vermeiden.

Im Gegensatz zur Ko-Existenz beschreiben Kooperation und Kollaboration eine echte Zusammenarbeit von Mensch und Roboter für eine gemeinsame Zielerreichung. Bei der Kooperation wird auf ein übergeordnetes gemeinsames Ziel hingearbeitet. Die Handlungen sind aber nicht unmittelbar voneinander abhängig da es eine klare Aufgabenteilung zwischen Mensch und Roboter gibt. Mensch und Roboter arbeiten somit an unterschiedlichen Teilaufgaben des Endergebnisses, deren Zuteilung im Vorfeld der Aufgabenbearbeitung festgelegt ist. Als Beispiel für diese Form der Zusammenarbeit kann der Einsatz von Pick&Place-Robotern in der Produktion dienen. Sowohl Roboter als auch Mensch arbeiten zusammen an einer Produktionskette mit einer gemeinsamen übergeordneten Zielstellung: der Herstellung eines bestimmten Produkts. So kann der Mensch z. B. Flaschen etikettieren, die der Roboter anschließend übernimmt und in Kartons verpackt.

Die Kollaboration beschreibt eine Interaktion als direkte Zusammenarbeit von Mensch und Roboter. Beide verfolgen eine gemeinsame Zielstellung, im Gegensatz zur Kooperation werden in diesem Fall auch Unterziele gemeinsam verfolgt. D. h., auch Teilhandlungen zur Zielerreichung werden gemeinsam von Mensch und Roboter durchgeführt, so dass es zu unmittelbaren Koordinationserfordernissen kommt. Die Zuteilung von Teilaufgaben erfolgt fortlaufend und ggf. situationsangepasst direkt während der Zusammenarbeit. Darüber hinaus zeichnet sich die Kollaboration durch die Schaffung und Nutzung von Synergien aus.

Zur besseren Veranschaulichung sind die drei Interaktionsformen in Abbildung 3 grafisch dargestellt.

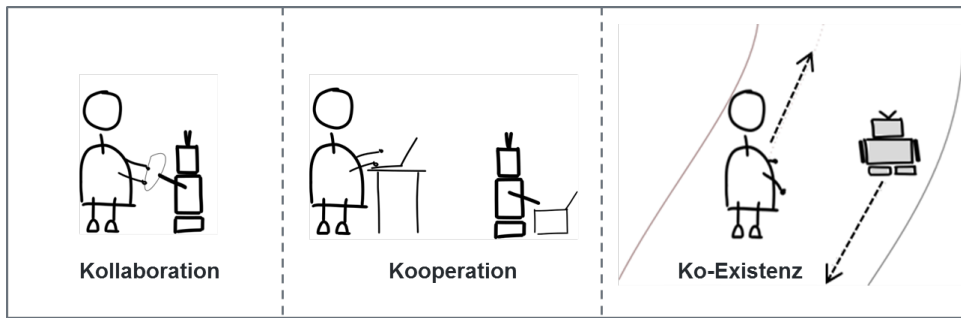


Abb. 3 Grafische Veranschaulichung der drei Interaktionsformen von Mensch und Roboter: Kollaboration, Kooperation und Ko-Existenz

Die Klassifizierung nach der Interaktionsrolle des Menschen orientiert sich an der Rollenbeschreibung von Scholtz (2002). Allerdings wird die Rolle des Menschen als Mechaniker nicht aufgegriffen, da in dieser Rolle keine typische MRI vorliegt, sondern nur Interaktionen in Form von "Reparaturarbeiten" und Überwachung des Roboters (Hardware und Software) auf funktioneller Ebene. Stattdessen wird die Rolle des Teampartners aus Scholtz Definition weiter spezifiziert, da in diesem Fall unterschiedliche Interaktions- und Hierarchieebenen möglich sind. Es ergeben sich entsprechend fünf distinkte Interaktionsrollen des Menschen: Der Supervisor überwacht den Roboter und gibt Anweisungen wie die Aufgabe zu erfüllen ist. Der Operateur steuert und kontrolliert den Roboter. Ein typisches Beispiel für diese Form der Interaktion stellt die Remote-Kontrolle von Robotern dar. Der Kollaborateur arbeitet mit dem Roboter zusammen um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Dabei sind die Aufgaben von Mensch und Roboter abhängig voneinander. Der Kooperator arbeitet ebenfalls mit dem Roboter zusammen um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Bei dieser Interaktionsrolle sind die Aufgaben allerdings nicht direkt voneinander abhängig. Als letzte Rolle wird noch der Nicht-Beteiligte definiert. In diesem Fall besteht keine direkte MRI. Da der Mensch und Roboter sich dennoch einen Raum teilen, benötigt der Mensch ein mentales Verständnis davon was die Aufgaben des Roboters sind und wie er diese ausführt.

3.2 Die Roboterklassifikation

In der MRI ist der Roboter der Interaktionspartner des Menschen. Die Arbeitsweise und Gestaltung des Roboters haben einen großen Einfluss auf die Interaktion, so dass in diesem Teil der Taxonomie Fragen des Arbeitskontexts des Roboters sowie seiner Gestaltung beantwortet werden (s. Abbildung 4).

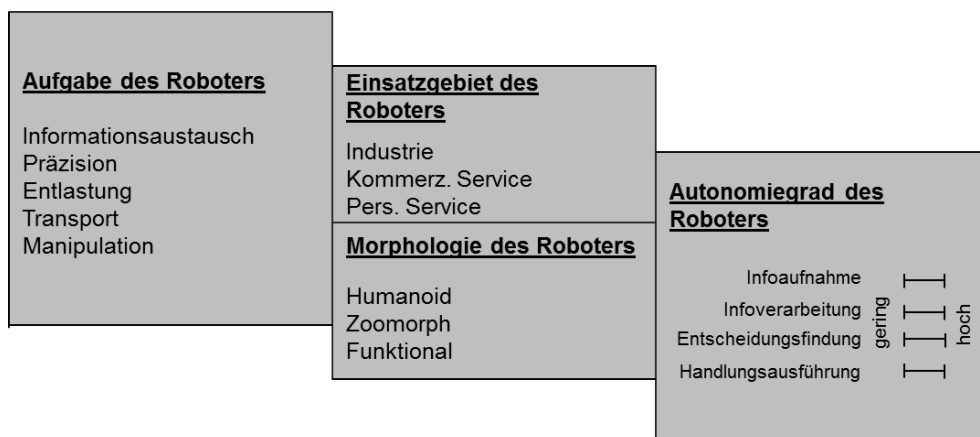


Abb. 4 Die Roboterklassifikation

Die Unterteilung des Einsatzgebietes des Roboters erweitert die ISO 8373:2012, in der Industrie- und Serviceroboter unterschieden werden. In der vorliegenden Taxonomie wird der Servicebereich nochmals in den kommerziellen Service und persönlichen Service unterteilt. In den kommerziellen Service fallen Roboter, die als Dienstleister eingesetzt werden, z. B. Reinigungsroboter für Solaranlagen. Persönliche Serviceroboter sind Roboter für den persönlichen Gebrauch, wie z. B. Mähroboter.

Die Beschreibung der Aufgabe des Roboters unterscheidet fünf abstrakte Aufgabenarten, so dass eine Klassifizierung unterschiedlichster Aufgaben in verschiedenen Einsatzgebieten ermöglicht wird. Damit soll ein standardisierter Vergleich sichergestellt werden. Die Aufgaben sind wie folgt definiert:

- Informationsaustausch: Diese Aufgabe dient der Informationsaufnahme und -abgabe des Roboters an den Menschen, wenn dieser die Umgebung nicht selbst erkunden kann (z. B. unbemannte Luftfahrzeuge, die Aufnahmen von einem Gebiet weitergeben).
- Präzision: Der Roboter wird besonders bei filigranen Arbeiten eingesetzt, da dieser eine Aufgabe präziser durchführen kann als der Mensch es könnte (z. B. Operationsroboter, die das Zittern des Chirurgen herausrechnen).
- Entlastung: Der Roboter wird für die Handhabung von Objekten bzw. Personen eingesetzt, um dem Menschen physische Arbeiten (Tragen, Heben, Fixieren) zu erleichtern und ihn zu unterstützen (z. B. Exoskelette, die den Menschen beim Tragen unterstützen).
- Transport: Der Roboter wird für diese Arbeit eingesetzt um Objekte von einem Standort zu einem anderen Standort zu transportieren bzw. zu befördern (z. B. Transportroboter, die Pakete in Versandhäusern transportieren).
- Manipulation: Der Roboter verändert seine Umgebung physisch (z. B. Schweißroboter, die Schweißarbeiten an einem Objekt vornehmen).

Als weitere Variable zur Roboterklassifikation wird der Autonomiegrad des Roboters definiert. Der Autonomiegrad bestimmt den Grad der Intervention durch den Menschen. Je autonomer der Roboter arbeitet, desto weniger muss der Mensch intervenieren. Beer und Kollegen (2014) beziehen den Autonomiegrad auf die Stufen Wahrnehmung, Handlungsplanung und Handlungsausführung. Da jedoch die Aufgabe der Informationsverarbeitung und -aggregation nicht betrachtet wird, soll in dieser Taxonomie der Autonomiegrad auf die Stufen Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung, Entscheidungsfindung und Handlungsausführung nach Wickens und Kollegen erweitert werden (Wickens, Hollands, Banbury, & Parasuraman, 2013). Der Autonomiegrad kann auf jeder der vier Stufen von "gering" bis "hoch" angegeben werden und impliziert somit auf abstrakter Ebene den Grad des Eingreifens durch den Menschen. Diese Form der Klassifizierung von Autonomie ist angelehnt an ein allgemein akzeptiertes Rahmenmodell von Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000) zur Bestimmung des Automatisierungsgrades technischer Systeme (in diesem Fall äquivalent zur Autonomie, s. Abbildung 5).

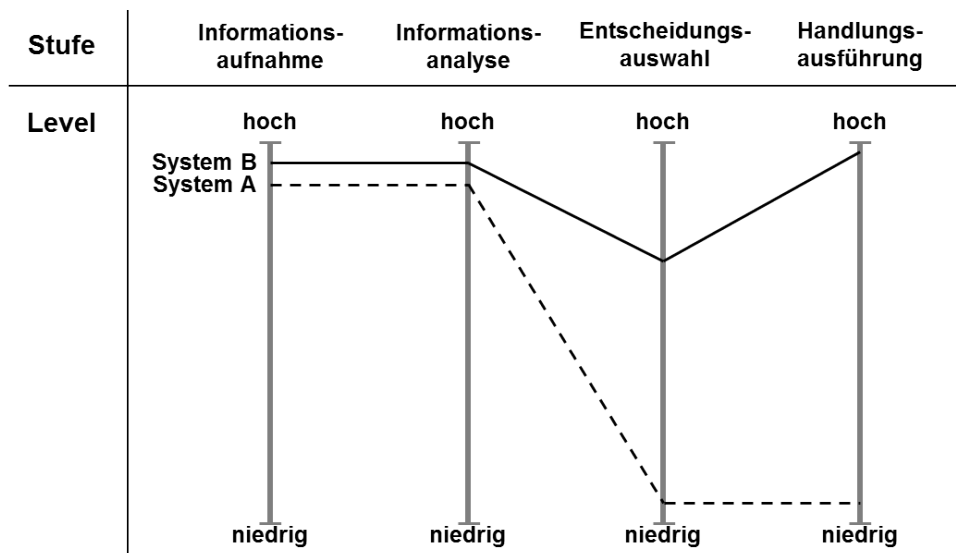


Abb. 5 Modell der Stufen und Level von Automation nach Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000). Beispielhaft sind zwei automatisierte Systeme vergleichend abgetragen, System A (niedriges Automationsniveau) und System B (höheres Automationsniveau).

Die vierte Variable, die den Roboter spezifizieren soll, ist die Morphologie des Roboters. Auch Yanco & Drury (2004) haben die Morphologie als bestimmendes Merkmal der Interaktion beschrieben. Die Morphologie des Roboters ist wesentlich für die Erwartungen des Nutzers über die Fähigkeiten des Roboters als auch wie mit dem Roboter kommuniziert werden kann. Die äußerliche Erscheinung kann genutzt werden, um bestimmte Assoziationen mit bekannten Objekten zu erzeugen, die eine intuitive Interaktion ermöglichen. Humanoide Roboter sind ein Beispiel hierfür. Je menschähnlicher ein Roboter gestaltet ist, desto eher werden auch menschliche Assoziationen geweckt, die sich auf die Interaktionsart auswirken. Es könnte z. B. erwartet werden, dass Kommunikation über natürliche Kanäle wie den der Sprache erfolgt.

Für fein abgestimmtes Handeln ist die Antizipation von Handlungen des Gegenübers wesentlich (Hoffman & Breazeal, 2004; Knoblich & Jordan, 2003). Neuere Forschungsarbeiten zeigen, dass hierfür das Gegenüber als intentional handelnd wahrgenommen werden muss (Sebanz & Knoblich, 2009). Auch hier spielt also die Morphologie eine Rolle. Hat ein Roboter z. B. ein Gesicht, kann über die "Augen" eine geteilte Aufmerksamkeit hergestellt werden. Für die Taxonomie wird die Morphologie in die Ausprägungen humanoid, zoomorph und funktional unterteilt. Eine humanoide Morphologie beschreibt ein menschähnliches Erscheinungsbild des Roboters. Um einen Roboter als humanoid zu empfinden reicht oft schon die Ähnlichkeit einzelner Merkmale wie z. B. eine menschähnliche Körperform wobei trotzdem Beine und Füße fehlen dürfen. Wird ein Roboter äußerlich zoomorph gestaltet, ist damit die Ähnlichkeit zu einem Tier gemeint. Bei rein funktional gestalteten Robotern folgt die Form der Funktion.

3.3 Die Teamklassifikation

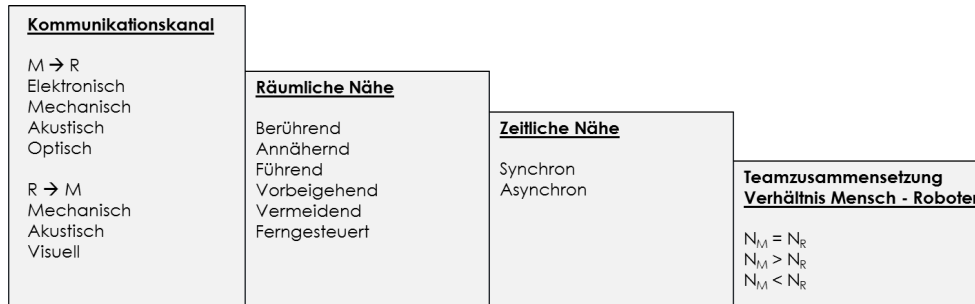


Abb. 6 Die Teamklassifikation

Durch die Teamklassifikation (s. Abbildung 6) können Strukturen der Mensch-Roboter-Interaktion eingeordnet werden. Fragen nach Aufbau und der Art der Zusammenarbeit werden in dieser Kategorie thematisiert.

Die räumliche Nähe gibt die Distanz an, die zwischen dem Arbeitsbereich des Roboters und dem Menschen vorherrscht. Diese räumliche Nähe wird durch Scholtz (2002) anhand von sechs Ausprägungen beschrieben, welche in dieser Taxonomie mit einer Ausnahme übernommen werden. Die Ausprägung "keine" fällt weg, da der Mensch und der Roboter in der MRI immer eine bestimmte Nähe zueinander haben. Dafür soll die Ausprägung "ferngesteuert" hinzugefügt werden. Die Ausprägungen sind dadurch wie folgt definiert:

- Berührend: Mensch und Roboter teilen sich den gleichen Arbeitsbereich und interagieren somit in mittelbarer Nähe. Mensch und Roboter können physischen Kontakt haben.
- Annähernd: Mensch und Roboter teilen sich einen Arbeitsbereich. Es gibt keinen physischen Kontakt, beide arbeiten jedoch sehr nah nebeneinander.
- Führend: Mensch und Roboter haben einen stabilen physischen Kontakt über einen längeren Zeitraum. Dies kann entweder über spezifische Schnittstellen (Führungsvorrichtung, Joystick, Kraft / Drehmomentensensor) oder direkt über die vom Roboter gehaltenen Teile erfolgen.
- Vorbeigehend: Der Arbeitsbereich von Mensch und Roboter kann sich komplett oder teilweise überschneiden. Berührungen werden jedoch vermieden.
- Vermeidend: Mensch und Roboter arbeiten nicht in unmittelbarer Nähe zusammen, vermeiden einen direkten Kontakt. Der Mensch versucht, außerhalb des Arbeitsbereichs des Roboters (d.h. eines begrenzten Raums) zu bleiben.
- Ferngesteuert: Mensch und Roboter befinden sich nicht im gleichen Arbeitsumfeld. Der Mensch kontrolliert den Roboter per Fernsteuerung.

Neben der räumlichen soll auch die zeitliche Nähe von Mensch und Roboter definiert werden. Diese kann in der vorliegenden Taxonomie entweder als synchron oder asynchron klassifiziert werden. Synchron bedeutet in diesem Fall, dass Mensch und Roboter zur gleichen Zeit arbeiten. Asynchron hingegen arbeiten Mensch und Roboter zeitlich versetzt (z. B. Schichtsystem).

Eine weitere Variable zur Charakterisierung der MRI ist die Teamzusammensetzung, welche vereinfacht nach Scholtz (2002) übernommen wurde. Demnach gibt es drei mögliche

Ausprägungen: die Anzahl von Menschen und Robotern ist gleich ($N_M = N_R$), es gibt mehr Menschen als Roboter in der Interaktion ($N_M > N_R$) oder mehr Roboter als Menschen ($N_M < N_R$).

Die vierte Variable der Teamklassifikation beschreibt den Kommunikationskanal. Die Kommunikationsklassifikation basiert auf der von Yanco & Drury (2002; 2004) beschriebenen Entscheidungsunterstützung. Da die vorliegende Taxonomie aber vor allem auf die Interaktion von Mensch und Roboter fokussieren soll, wird sowohl der Input als auch der Output beider Interaktionspartner in den Vordergrund gerückt. Die Art der im Roboter implementierten Sensoren ist dabei weniger von Interesse. Entscheidend ist, über welchen Kanal der Roboter Informationen vom Menschen aufnimmt und andererseits über welchen Kanal der Mensch die Informationen vom Roboter wahrnimmt. So können Informationen des Menschen über folgende Kanäle des Roboters vermittelt werden: elektronisch (z. B. durch Drücken von Steuerelementen), mechanisch (z. B. kinematische Bewegung der Roboterteile), akustisch oder optisch. Die vom Roboter ausgehenden Informationen können vom Menschen entweder mechanisch (z. B. haptisch über Vibrationen), akustisch oder über den visuellen Kanal wahrgenommen werden.

3.4 Grafische Unterstützung der Kategorisierung konkreter MRI-Szenarien

Um die Kategorisierung einer konkreten Mensch-Roboter-Interaktion zu vereinfachen, wird die vorab vorgestellte Taxonomie in eine kompakte grafische Darstellung übertragen (Canvas-Darstellung, s. Abbildung 7).


	Aufgabe des Roboters Informationsaustausch Präzision Entlastung Transport Manipulation	Interaktionsform Mensch ↔ Roboter Kollaboration Kooperation Ko-Existenz	Interaktionsrolle des Menschen Supervisor Operateur Kollaborateur Kooperator Nicht-Beteiligter
	Räumliche Nähe Berührend Annähernd Führend Vorbeigehend Vermeidend Ferngesteuert	Einsatzgebiet des Roboters Industrie Kommerz. Service Pers. Service	Autonomiegrad des Roboters Infoaufnahme ----- Infoverarbeitung ----- Entscheidungsfindung ----- Handlungsausführung ----- hoch niedrig
Kommunikationskanal M → R Elektronisch Mechanisch Akustisch Optisch R → M Mechanisch Akustisch Visuell	Morphologie des Roboters Humanoid Zoomorph Funktional	Zeitliche Nähe Synchron Asynchron	Teamzusammensetzung Verhältnis Mensch - Roboter $N_M = N_R$ $N_M > N_R$ $N_M < N_R$

Abb. 7 Canvas-Darstellung der neu entwickelten MRI-Taxonomie

Die drei Klassifikationscluster sind durch farbliche Abstufungen gekennzeichnet (Interaktionsklassifikation = dunkelgrau, Roboterklassifikation = mittelgrau, Teamklassifikation = hellgrau). Die Darstellung dient als Vorlage zur Charakterisierung konkreter Interaktionsszenarien, weshalb pro Variable alle möglichen Ausprägungen aufgeführt sind. Bei der Anwendung der Taxonomie auf konkrete Beispiele sollte pro Variable (mindestens) eine Ausprägung gewählt werden.

4 Zusammenfassung

Es wurde eine Taxonomie der Mensch-Roboter-Interaktion entwickelt, die sowohl dem Anspruch einer möglichst hohen Generalisierbarkeit genügt, als auch eine Interaktionscharakterisierung von Mensch und Roboter mit hohem Detailgrad ermöglicht. Die Darstellung im kompakten Canvas-Format ermöglicht eine einfache Klassifizierung unterschiedlicher Roboter nach standardisierten Kriterien. Die Taxonomie erlaubt einen strukturierten Vergleich verschiedener MR-Systeme, so dass z. B. die Identifikation übergeordneter Einflussgrößen auf die MRI möglich wird. Auf diese Weise kann der Einfluss bestimmter Gestaltungsmerkmale des Roboters auf typische Human-Factors-Aspekte wie z. B. Vertrauen, Akzeptanz, Situationsbewusstsein oder mentale Beanspruchung einer systematischen (Meta-)Analyse unterzogen werden. Damit bildet die Taxonomie die Grundlage für zukünftige Empfehlungen einer innovativen und menschenzentrierten MRI-Gestaltung.

Literatur

- Beer, J., Fisk, A., & Rogers, W. (2014). Toward a Framework for Levels of Robot Autonomy in Human-Robot Interaction. *Journal of Human-Robot Interaction*, 3, 74–99.
- Ellis, C. A., Gibbs, S. J., & Rein, G. (1991). Groupware: Some Issues and Experiences. *Commun. ACM*, 34(1), 39–58.
- Hoffman, G., & Breazeal, C. (2004). Collaboration in human-robot teams. In *Proc. of the AIAA 1st Intelligent Systems Technical Conference*, Chicago, IL, USA.
- ISO 8373:2012. (o. J.). Robots and robotic devices – vocabulary.
- Knoblich, G., & Jordan, J. S. (2003). Action coordination in groups and individuals: Learning anticipatory control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(5), 1006–1016.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286–297.
- Scholtz, J. (2002). Human-robot interactions: Creating synergistic cyber forces. In *Multi-Robot Systems: From Swarms to Intelligent Automata* (S. 177–184). Netherlands: Springer.
- Sebanz, N., & Knoblich, G. (2009). Prediction in Joint Action: What, When, and Where. *Topics in Cognitive Science*, 1(2), 353–367.
- Sheridan, T. B., & Verplank, W. L. (1978). Human and Computer Control of Undersea Teleoperators. (Technical Report). Cambridge, MA: MIT Man-Machine Systems Laboratory.
- Surdilovic, D., Radojicic, J., & Bastidas-Cruz, A. (2015). Interaktionsfähige Roboter - Vielseitige Entwicklungsaussichten. *wt Werkstattstechnik online*, 105(Nr.9), 619–621.
- Wickens, C. D., Hollands, J., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2013). *Engineering Psychology & Human Performance* (4 edition). Boston: Pearson.

Yanco, H. A., & Drury, J. L. (2002). A taxonomy for human-robot interaction. In Proceedings of the AAAI Fall Symposium on Human-Robot Interaction (S. 111–119).

Yanco, H. A., & Drury, J. L. (2004). Classifying human-robot interaction: an updated taxonomy. In SMC (3) (S. 2841–2846).