Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45

Interaktionsgestaltungsmuster zur Erweiterung der Kommunikationsfertigkeiten autonomer Roboter

Mensch und Roboter Hand in Hand

K. Pollmann, S. Layer, K. Hölzle

ZUSAMMENFASSUNG Für die erfolgreiche Einführung von Robotern in industriellen und anderen Kontexten ist eine intuitive und akzeptable Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) von zentraler Bedeutung. Dieser Beitrag präsentiert einen Ansatz, der MRI-Gestaltungswissen standardisiert und dessen Umsetzung in der Robotikentwicklung mittels Interaktionsgestaltungmustern (Patterns) erleichtert. Der Ansatz wird am Beispiel der Erweiterung der Kommunikationsfertigkeiten eines autonomen Reinigungsroboters demonstriert und evaluiert.

STICHWÖRTER

Mensch und Technik, Industrieroboter, Forschung

Humans and robots teaming up – Interaction design patterns for enhancing the communication skills of autonomous robots

ABSTRACT The intuitive, acceptable design of human-robot interaction (HRI) is key for a successful introduction of robots in industrial and other contexts. This paper presents an approach to standardize HRI design knowledge and facilitate its application when developing robotic systems, using interaction design patterns. The approach is demonstrated and evaluated using the example of enhanced communication skills for an autonomous cleaning robot.

1 Gestaltung von MRI als Erfolgsfaktor

Roboter werden im Zuge der voranschreitenden Automatisierung zukünftig vermehrt Aufgaben von Menschen übernehmen oder diesen bei unterschiedlichsten Tätigkeiten assistieren. Für eine erfolgreiche Einführung von Robotern in industriellen und anderen Kontexten ist nicht nur der Reifegrad der technischen Fertigkeiten entscheidend. Sobald Mensch und Roboter in einem Anwendungsszenario aufeinandertreffen, rücken auch die Interaktionsfertigkeiten des Roboters in den Fokus. Diese sollten gezielt so gestaltet werden, dass die Interaktion mit dem Roboter als verständlich und angenehm erlebt wird. Eine intuitiv und benutzerfreundlich gestaltete Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) fördert nicht nur die Akzeptanz und das Vertrauen der Nutzenden, sondern verbessert auch die Effizienz und Effektivität der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine. Eine erfolgreiche MRI ist somit ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Integration von Robotern in den Alltag und in industrielle Prozesse. Nichtsdestotrotz wird Interaktionsgestaltung in der Robotik häufig nachrangig nach technischen Entwicklungen behandelt.

Dieser Beitrag präsentiert einen Ansatz, wie der Zugang zu MRI-Gestaltungswissen und dessen Umsetzung in der Entwicklung robotischer Systeme erleichtert werden kann. Kern des Ansatzes ist die Etablierung von Gestaltungsstandards für die MRI in Form von Interaktionsgestaltungsmustern (Interaction Design Patterns), die auf verschiedene robotische Systeme und Anwendungsfelder übertragbar sind. Im Folgenden wird die Entwicklung des Ansatzes hergeleitet und seine Umsetzung anhand eines Projektbeispiels demonstriert.

1.1 Formen der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter

In industriellen Einsatzbereichen wird der Umfang der MRI üblicherweise in drei Kategorien bemessen: Koexistenz, Kooperation und Kollaboration (zum Beispiel [1, 2]). Die Unterteilung richtet sich zum einen nach der räumlichen Beziehung zwischen Mensch und Roboter und zum anderen nach der Art der Aufgabenbearbeitung: Koexistenz bezeichnet eine Situation, in der Mensch und Roboter sich (möglicherweise) in derselben Umgebung aufhalten, dort jedoch ganz unabhängig voneinander ihre jeweiligen Aufgaben ausführen. Dienen diese Aufgaben hingegen einem gemeinsamen übergeordneten Ziel, so spricht man von Kooperation. Kollaboration beschreibt die engste Form der Zusammenarbeit, bei der Mensch und Roboter gemeinsam an derselben Aktivität in einem gemeinsamen und potenziell sozialen Raum arbeiten [3]. Sie ist somit die einzige Mensch-Roboter-Beziehung in diesem Kategorisierungsansatz, die eine direkte Interaktion erfordert.

Mit dieser Triade lassen sich die meisten Anwendungsfälle abdecken, bei denen Roboter autonom agieren und hauptsächlich als Werkzeug zur Automatisierung menschlicher Aufgaben eingesetzt werden, zum Beispiel für den Transport, zur Reinigung oder für Such- und Rettungsaktionen. Um eine effiziente, autonome Aufgabenerledigung des Roboters zu gewährleisten, werden die Berührungspunkte mit menschlichen Akteuren auf ein Minimum reduziert. Daher wird der Gestaltung des Kommunikationsverhaltens des Roboters eine eher untergeordnete Rolle beigemessen.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

Allerdings lässt sich selbst bei einer Koexistenz der Kontakt zwischen Mensch und Roboter nie ganz ausschließen. Bei Kooperation und Kollaboration wird eine Zusammenarbeit sogar zwingend erforderlich. Verzichtet man auf eine gezielte, menschengerechte Gestaltung des Roboter-Interaktionsverhaltens für diese Kontaktsituationen, kann dies zu Verwirrung, Reaktanz und sinkender Produktivität bei den menschlichen Bedienern führen. Eine zielgerichtete Interaktionsgestaltung zur Förderung einer hohen Benutzerfreundlichkeit (Usability) und eines positiven Nutzungserlebens (User Experience) wirkt sich dagegen positiv auf die Aufgabeneffizienz und Produktivität der Bedienenden aus.

1.2. Etablierung von Gestaltungsstandards in der MRI

Um eine ressourceneffiziente MRI-Gestaltung zu ermöglichen, die gleichzeitig hohen Qualitätsansprüchen gerecht wird, wäre es insbesondere für die genannten Anwendungsbereiche ideal, auf etablierte Gestaltungsstandards zurückgreifen zu können. Aktuell wird die Etablierung solcher Standards aber durch eine Fragmentierung von Wissen und unzureichender Dokumentation wissenschaftlicher Erkenntnisse für die Praxisanwendung erschwert. Empirische Studien nehmen zumeist einzelne Roboter oder Anwendungskontexte in den Fokus und machen keine Angaben zur Generalisierbarkeit ihrer Erkenntnisse. Die heterogene Zusammensetzung der MRI-Community aus Soft- und Hardwareentwicklerteams, psychologischen Fachkräften und Interaktionsgestaltenden führt zu unterschiedlichen Konventionen und Formaten, um Gestaltungswissen zu dokumentieren.

Pollmann [4] hat einen methodischen Ansatz entwickelt, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Dieser nutzt das Konzept von Design Patterns, um die Entwicklung des Kommunikationsverhaltens von Robotern zu vereinfachen, zu standardisieren und für die praktische Anwendung in unterschiedlichen Kontexten zugänglich zu machen. Die Idee, Gestaltungswissen in Form von Design Patterns zu systematisieren, geht auf *Alexander* [5, 6] zurück, der eine umfangreiche Sammlung von architektonischen Design Patterns anlegte. Dazu identifizierte er zunächst Gestaltungsherausforderungen, die ihm bei seiner Arbeit immer wieder begegneten. Basierend auf Beobachtung und Analyse von Städten, Gebäuden und Konstruktionen, in denen Menschen gerne leben, formulierte er daraufhin passende, erfolgreiche Lösungen, um die identifizierten Herausforderungen architektonisch zu adressieren.

Der Pattern-Ansatz von *Alexander* wurde seitdem erfolgreich in der Software-Entwicklung [7], Webseiten-Gestaltung [8] und Mensch-Computer-Interaktion [9] aufgegriffen. *Pollmann* [4] überträgt das Konzept der Design Patterns unter Berücksichtigung dieser und weiterer Vorarbeiten [7–11] auf die Mensch-Roboter-Interaktion und beschreibt ein dezidiertes, systematisches Vorgehen, um generalisierbare, wiederverwendbare Interaction Design Patterns für unterschiedlichste Roboter und Anwendungskontexte zu entwickeln. Dieser Pattern-Gestaltungsprozess bildet die Grundlage der im Folgenden beschriebene Forschungsarbeit.

2 Entwicklung von Interaction Design Patterns für autonome Roboter

Diese Forschungsarbeit wurde im Rahmen des Projekts „ZEN-MRI“ (Ulmer Zentrum zur Erforschung und Evaluation der Mensch-Roboter-Interaktion im öffentlichen Raum [12]) durchgeführt. Ziel des Projekts ist die Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) zu untersuchen, unter dem Aspekt von psychologischen, sozialen, ethischen, rechtlichen und sicherheitsrelevanten Anforderungen an die Integration von Robotern in den öffentlichen Raum. Darauf basierend sollen verschiedene Auslegungen von Roboterverhalten und Interaktionsstrategien abgeleitet, weiterentwickelt und evaluiert werden. Als Anwendungsbeispiel dienen im Projekt zwei Reinigungsroboter der Firma Adlatus Robotics. In diesem Kontext wird die folgende Fragestellung untersucht, die im Zentrum der hier beschriebenen Forschung steht:

Welche Interaction Design Patterns werden benötigt, damit ein autonomer Reinigungsroboter im öffentlichen Raum verständlich und angenehm kommunizieren kann und wie sehen diese aus?

2.1. Anwendungsbeispiel: Reinigung von öffentlichen Plätzen

Reinigungsroboter können auf öffentlichen Plätzen eingesetzt werden, um kontinuierlich Sauberkeit zu gewährleisten. Ihr Einsatz bietet den Vorteil, dass sie rund um die Uhr arbeiten können, ohne Pausen zu benötigen, wodurch die Effizienz der Reinigung erhöht wird. Zudem können durch den Robotereinsatz Personalengpässe aufgefangen werden.

Eine Herausforderung beim Einsatz autonomer Roboter im öffentlichen Raum besteht darin, dass sie in stark frequentierten Bereichen navigieren müssen, ohne Passanten und Passantinnen bei ihren Aktivitäten in der Stadt zu stören. Umgekehrt sollen auch die Roboter ihre Aufgabe ungestört verrichten können.

Im Projekt ZEN-MRI werden Faktoren für den erfolgreichen Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum anhand des Wisch-Saug-Roboters „CR700“ (**Bild 1**, links) und der Kehrmaschine „SR1300“ (Bild 1, rechts) der Adlatus Robotics GmbH beforscht. Die beiden Roboter sind kommerziell verfügbar und werden bislang primär an Orten und zu Zeitpunkten eingesetzt, die Begegnungen mit Menschen unwahrscheinlich machen.

Wenn sie nun zum Reinigen von öffentlichen Flächen in der Innenstadt genutzt werden sollen, wo sie vermehrt in Kontakt mit Passanten und Passantinnen kommen, entsteht der Bedarf, ihre Kommunikationsfertigkeiten zu erweitern. So können zukünftig kritische Situationen (wie etwa Zusammenstöße mit Passanten und Passantinnen) vermieden und die Akzeptanz der Roboter gesteigert werden. Zur systematischen Erweiterung der Kommunikationsfertigkeiten werden für wiederkehrende Interaktionssituationen Design Patterns entwickelt, exemplarisch auf dem CR700 implementiert und in einer Feldstudie mit Passanten und Passantinnen in der Ulmer Innenstadt erprobt.

2.2 Entstehungsprozess der Patterns

Basierend auf dem Pattern-Gestaltungsprozess nach *Pollmann* [4], wurden multimodale generische Verhaltensmuster (Patterns) für die identifizierten wiederkehrenden Interaktionssituationen von Mensch und Roboter im öffentlichen Raum entwickelt. Für jede wiederkehrende Interaktionssituation wurde zunächst ein Kommunikationsziel für den Roboter formuliert, das beschreibt, was der Roboter dem menschlichen Gegenüber in dieser Situation über seinen aktuellen Status, seine Tätigkeit oder seine Intention kenntlich machen soll. Für jedes Kommunikationsziel wird dann ein passendes Pattern entwickelt, das eine Gestaltungsempfehlung enthält, wie der Roboter das Kommunikationsziel unter Verwendung verschiedener Kommunikationsmodalitäten durch

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

Bild 1. Wisch-Saug-Roboters „CR700“ und Kehrmaschine „SR1300“ der Adlatus Robotics GmbH. *Fotos: Thomas Abe*

sein Verhalten zum Ausdruck bringen kann. Die Konzeption eines Patterns umfasste mehrere Schritte:

1. Eine Desktop-Recherche, bei der für das jeweilige Kommunikationsziel wissenschaftliche Erkenntnisse und Best Practices aus den Bereichen Mensch-Mensch-, Mensch-Tier-, Mensch-Technik- und Mensch-Roboter-Kommunikation zusammengetragen werden vor dem Hintergrund der Frage: Durch welches Verhalten drücken Menschen, Tiere, technische Geräte und Roboter (real oder aus Science-Fiction-Filmen) dieses Kommunikationsziel aus? Die Ergebnisse werden sowohl als tabellarische Übersicht als auch in Form von Insight Boards (visuelle Darstellungen im Posterformat) dokumentiert.
2. Ein Ideation Workshop, bei dem nach einem strukturierten Vorgehen, basierend auf den Insight Boards, erste Ideen für mögliche Gestaltungsempfehlungen für die unterschiedlichen Kommunikationsmodalitäten gesammelt wurden.
3. Eine Spezifizierung der entwickelten Gestaltungsempfehlungen und Ausdetaillierung der für das Pattern verwendeten Kommunikationsmodalitäten mit Hilfe eines eigens entwickelten Kartensets, dem Modality Card Deck [13].

Im Rahmen des Projekts ZEN-MRI wurden anhand dieses Vorgehens neun Patterns für die Kommunikation autonomer Roboter im öffentlichen Raum erarbeitet. Eine Übersicht derselben ist nachfolgend in **Tabelle 1** aufgeführt.

Die Patterns zielen vor allem darauf ab, Zustand, Fahrverhalten und Geschwindigkeitsveränderungen des Roboters transparent zu machen sowie das Einhalten eines definierten Abstandes zwischen Passant:innen und Roboter zu forcieren, um Kollisionen zu vermeiden. Bei der Entwicklung der Patterns wurde darauf geachtet, visuelle und auditive Modalitäten zu kombinieren, um eine inklusive Gestaltung (etwa auch für hör- oder seheingeschränkte Personen) zu ermöglichen.

2.3 Exemplarische Umsetzung der Patterns auf dem Reinigungsroboter CR700

Die beschriebenen Patterns wurden prototypisch auf dem Wisch-Saug-Roboter CR700 umgesetzt. Dadurch konnte nicht nur die technische Machbarkeit der Implementierung evaluiert, sondern die Patterns konnten auch für Nutzende erlebbar gemacht werden. Zur Umsetzung der Patterns wurde auf dem Roboter ein umlaufendes LED-Band angebracht. Zudem wurden an einer Stange oberhalb des Roboters zwei blaue und zwei rote Projektionsstrahler angebracht, welche die Projektion einer kreisförmigen Sicherheitszone im Bogenbereich rund um den Roboter ermöglichen. Zudem wurde vorn und hinten am Roboter je ein weiterer Strahler für zusätzliche Bodenprojektionen (im Anwendungsfall das Reinigungs-Icon) montiert. **Bild 2** zeigt Fotos von den Implementierungen der in Kapitel 2.2 beschriebenen Patterns unter Verwendung der genannten Hardware-Erweiterungen.

3 Evaluation der Patterns mit Testpersonen

Die auf dem Reinigungsroboter implementierten Patterns wurden in einer empirischen Studie mit Testpersonen dahingehend evaluiert, wie verständlich und angenehm sie empfunden wurden. Die Studie wurde unter kontrollierten Rahmenbedingungen im Feld durchgeführt. Testfeld war die Sedelhof-Passage in Ulm, eine unterirdische Einkaufspassage, die direkt an den Ulmer Hauptbahnhof angrenzt und somit vor allem von Pendelnden stark frequentiert wird.

Die Evaluationsmethode und die Fragen basieren auf dem in *Pollmann* [4] beschrieben Vorgehen zur Pattern-Evaluation. Hier ist ebenfalls erläutert, wie eine Auswertung und Interpretation der Antworten erfolgen soll.

3.1 Stichprobe und Experimentalaufbau

An der Studie nahmen 31 Ulmer Einwohner im Alter von 20 bis 70 Jahren teil ($M = 40{,}90$, $SD = 18{,}90$). 16 Testpersonen identifizierten sich als männlich und 15 als weiblich. Die Studie wurde in der Sedelhof-Passage in Ulm durchgeführt, wo der Roboter CR700 in einem abgesperrten Bereich im Zeitraum von vier Tagen zu erleben war.

In dem abgesperrten Bereich von circa 13,8 m x 7,6 m fuhr der Roboter eine vordefinierte ovale Route ab, etwa im Abstand von 1,5 Metern zur äußeren Absperrung des Bereichs. Die Testperson befand sich während der Versuchsdurchführung an einem

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

Tabelle 1. Übersicht über die entwickelten Patterns mit Namen, Kommunikationsziel (Was möchte der Roboter gegenüber den Nutzenden ausdrücken?) und Gestaltungsempfehlung (Wie kann der Roboter dieses Kommunikationsziel über multimodale Verhaltensweisen zum Ausdruck bringen?).

Pattern Name	Kommunikationsziel	Multimodale Gestaltungsempfehlung
Aufmerksam	Ich bin aufmerksam und scanne meine Umgebung.	Lass den Roboter Licht und Ton verwenden, um auszudrücken, dass er sich seiner Umgebung bewusst ist. Verwende dazu ein periodisch pulsierendes LED-Lichtband im unteren Drittel des Roboters und/oder einen einzelnen Ton, der seine Lautstärke periodisch ändert. Die Tonausgabe ist periodisch mit dem LED-Lichtband synchronisiert und macht so transparent, dass die Sensoren des Roboters kontinuierlich Umgebungsparameter erfassen.
Arbeitend	Ich arbeite / reinige gerade.	Lass den Roboter transparent machen, welcher Tätigkeit er gerade nachgeht. Dies kann mit Hilfe eines aussagekräftigen Icons erfolgen, das mittels Lichts projiziert wird oder auf einem Display angezeigt wird: Für die Lichtprojektion wird empfohlen, zweifarbige Icons zu verwenden und eine neutrale Farbe (Eisblau) zu nutzen. Die Projektion sollte auf den Boden vor und hinter dem Roboter erfolgen und kontinuierlich angezeigt werden (bis ggf. andere Bodenprojektionen angezeigt werden). Alternativ kann das Icon auf einem Display angezeigt werden.
Abbiegen	Ich biege nach links / rechts ab.	Lass den Roboter mit Licht anzeigen, dass er sich in eine bestimmte Richtung bewegt. Verwende Blinker, die sich links und rechts am Roboter befinden, und lass sie blinken, wenn der Roboter nach links bzw. rechts abbiegt. Farbempfehlung: warmes Gelb, Helligkeit: gute Erkennbarkeit bei wechselnden Lichtverhältnissen, Blinkfrequenz: $f = 1{,}5 \pm 0{,}5$ Hz.
Auf der Stelle wenden	Ich wende auf der Stelle.	Lass den Roboter seine Drehrichtung und Geschwindigkeit mit Hilfe eines dynamisch umlaufenden Lichtsignals ausdrücken. Farbempfehlung: warmes Gelb, Helligkeit: gute Erkennbarkeit bei wechselnden Lichtverhältnissen, Umlaufgeschwindigkeit des Lichts angepasst an die Drehgeschwindigkeit.
Zurücksetzen	Ich fahre gerade rückwärts.	Lass den Roboter mithilfe von Licht und Ton anzeigen, dass er rückwärtsfährt. Verwende eine Leuchte in der Mitte der Rückseite des Roboters, die weiß leuchtet, während er rückwärtsfährt. Das Rückfahrlicht sollte idealerweise vor der eigentlichen Bewegung des Roboters aktiviert werden, um den Benutzenden auf die nächste Bewegung des Roboters vorzubereiten.Eine weitere Möglichkeit, die ergänzend genutzt werden kann, um die Rückwärtsbewegung multimodal zu gestalten, ist die Verwendung eines Pieptons.
Abbremsen	Ich werde langsamer.	Lass den Roboter durch ein violettes Bremslicht, das sich an der Vorder- und Rückseite des Roboters befindet, anzeigen, dass er langsamer wird. Die Änderung der Bewegungsgeschwindigkeit könnte auch durch eine entsprechende Anpassung des Bewegungsgeräuschs des Roboters deutlicher gemacht werden: geringere Lautstärke bei langsamer Bewegung, höhere Lautstärke bei schnellerer Bewegung.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

Sicherheitszone	Dies ist mein Sicherheitsbereich. Ich halte Abstand zu dir.	Projiziere mit Hilfe von Licht einen kreisförmigen Bereich um den Roboter (im Abstand von 75 – 120 cm, Farbe: orange-gelb, alternativ: blau). Dieser Kreis zeigt den Sicherheitsabstand an, den der Mensch idealerweise zum Roboter einhalten soll.
Annäherung	Ich bin zu nah an dir dran.	*Dieses Pattern ist eine Variation des Patterns „Sicherheitszone“* Sobald der Mensch die projizierte Linie berührt, lass die Lichtfarbe zu Rot wechseln, um darauf aufmerksam zu machen, dass der Mensch dem Roboter zu nahe gekommen ist. Zusätzlich kann ein kurzer Warnton (Hupen) ausgelöst werden.
Ausweichaufforderung	Bitte weiche mir aus.	*Dieses Pattern ist eine Variation des Patterns „Annäherung“.* Verlässt der Mensch die Sicherheitszone nicht umgehend, wird mittels Variation der Lichtprojektion und einer Sprachausgabe Dringlichkeit erzeugt: Lass den projizierten Lichtkreis blinken und den Roboter eine sprachliche Ausweichaufforderung in höflichem Ton ausgeben („Entschuldige die Störung, könntest du bitte ausweichen?“).

Bild 2. Fotos von der Implementierung der neun entwickelten Patterns auf dem CR700. *Fotos: Fraunhofer IAO*

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

Tabelle 2. Überblick über die Mittelwerte der wahrgenommenen Verständlichkeit und Angenehmheit der evaluierten Patterns, absteigend sortiert nach der Verständlichkeitsbewertung.

Pattern Name	Arithmetisches Mittel der Bewertungen für Verständlichkeit	Arithmetisches Mittel der Bewertungen für Angenehmheit
Sicherheitszone	4,68	3,87
Abbiegen	4,55	4,16
Arbeitend	4,45	4,03
Zurücksetzen	4,35	3,39
Auf der Stelle wenden	4,26	4,06
Aufmerksam	4,26	4,00
Abbremsen	3,71	3,90

definierten Punkt im abgesperrten Bereich, von dem aus sie den Roboter immer gut im Blick hatte. Außerhalb der Absperrung konnten unbeteiligte Passanten und Passantinnen weiterhin durch die Passage laufen und den Studienablauf dabei beobachten.

3.2 Studienablauf

Im Rahmen des beschriebenen Studienaufbaus wurden unterschiedliche Fragestellungen untersucht. Im Folgenden wird jener Teil des Ablaufs beschrieben, der für den vorliegenden Beitrag und seine Forschungsfrage relevant ist.

Die Testpersonen wurden in Empfang genommen, über den Ablauf der Studie aufgeklärt und gebeten, eine Einverständniserklärung und Datenschutzvereinbarung zu unterschreiben. Danach wurden sie ins Testfeld zu dem definierten Beobachtungspunkt geführt. Von dort aus beobachteten sie den Roboter zunächst, wie er den Bereich, wie oben beschrieben, abfuhr und dabei situationsbedingt die Patterns „Aufmerksam“, „Auf der Stelle wenden“, „Zurücksetzen“, „Abbremsen“, „Arbeitend“ und „Abbiegen“ (in dieser Reihenfolge) zeigte. Gegen Ende seiner Runde fuhr der Roboter frontal in gerader Linie auf die Testpersonen zu. In dieser Situation wurden die Testpersonen gebeten, frontal auf den Roboter zuzulaufen, bis sie direkt vor ihm standen. Durch diese Annäherung wurden die Patterns „Geringer Abstand“, „Zu geringer Abstand“ und „Ausweichaufforderung“ ausgelöst. Nach Auslösen der Patterns fuhr der Roboter um die Testpersonen herum und kehrte zum Startpunkt der Route zurück.

Anschließend wurden die Testpersonen in einem Nachbarraum zu ihrer Wahrnehmung des Kommunikationsverhaltens des Roboters befragt. Dazu wurden ihnen Ausschnitte aus dem Interaktionsablauf des Roboters in Form von Videos gezeigt, anhand derer sie das jeweilige Verhalten des Roboters auf einer fünffach gestuften Likert-Skala bewerten sollten:

- Wie verständlich ist das Verhalten des Roboters für Sie? (1 = gar nicht verständlich bis 5 = sehr verständlich)
- Wie angenehm ist das Verhalten des Roboters für Sie? (1 = gar nicht angenehm bis 5 = sehr angenehm)

Im Anschluss an die Fragen konnten die Testpersonen erläutern, wie sie das Verhalten des Roboters interpretieren (Kommunikationsziel) und welches Verhalten sie genau wahrgenommen haben (Kommunikationsmodalitäten).

Die Interaktionssequenz aus den Patterns „Sicherheitszone“, „Annäherung“ und „Ausweichaufforderung“ war faktisch aufgrund der schnellen Annäherung von Testperson und Roboter nicht unterteilbar und wurde deshalb als ein Video präsentiert. Dieses erhielt die übergreifende Bezeichnung „Sicherheitszone“, die auch für die Auswertung im Folgenden verwendet wird.

3.3 Auswertung

Die Antworten auf die Fragen wurden deskriptiv statistisch ausgewertet. Dazu wurden pro Pattern und Frage über die Stichprobe hinweg Mittelwerte gebildet. Anhand der Mittelwerte kann eine erste Einschätzung vorgenommen werden, welche Patterns als validiert gelten und welche einer Überarbeitung bedürfen. So weisen Mittelwerte zwischen 1 und 2 auf eine „zwingend notwendige Überarbeitung“ des Patterns hin. Patterns mit einer mittleren Bewertung von 3 haben „möglichen Optimierungsbedarf“, während Mittelwerte zwischen 4 und 5 das Pattern als „verständlich“ beziehungsweise „angenehm“ kennzeichnen.

3.4 Ergebnisse

Die Auswertungsergebnisse sind **Tabelle 2** zu entnehmen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass fast alle durchschnittlichen Bewertungen bei einem Wert zwischen 4 und 5 oder knapp unter 4 liegen. Hinsichtlich Verständlichkeit wurden die Patterns „Sicherheitszone“ (M = 4,68) und „Abbiegen“ (M = 4,55) am besten bewertet. Als am angenehmsten wurden die Patterns „Abbiegen“ (4,16) und „Auf der Stelle wenden“ (4,06) wahrgenommen.

Auf Basis der subjektiven Bewertungen kann die Mehrheit der entwickelten Patterns als „verständlich“ und „angenehm“ klassifiziert werden. Möglicher Optimierungsbedarf lässt sich für die Patterns „Abbremsen“, „Sicherheitszone“ und „Zurücksetzen“ identifizieren, bei denen eine oder beide durchschnittliche Bewertungen etwas geringer ausfielen.

3.5 Diskussion

Die Auswertung weist darauf hin, dass die entwickelten Patterns weitestgehend eine hohe Usability (Verständlichkeit) und User Experience (Angenehmheit) aufweisen. Es fällt auf, dass vor allem Kommunikationsmechanismen, die den Testpersonen aus dem täglichen Leben bekannt sind (wie das Betätigen des Blinkers beim Abbiegen) besonders hoch bewertet wurden. Die Bewertungen der Patterns „Sicherheitszone“, „Abbremsen“ und „Zurücksetzen“ bedürfen genauerer Betrachtung.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

Bei den Bewertungen des Patterns „Sicherheitszone“ ist auffällig, dass es sowohl als am verständlichsten als auch als weniger angenehm bewertet wurde. Letzteres ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass das Video durch die zuvor beschriebene Zusammenführung der drei ursprünglichen Patterns „Sicherheitszone“, „Annäherung“ und „Ausweichaufforderung“ eine deutliche höhere Komplexität aufwies als die anderen Videos. Im Rahmen einer Folgestudie könnte eine zusätzliche, getrennte Bewertung der Videosequenzen, die jeweils die drei einzelnen Patterns zeigen, Aufschluss erbringen, welcher Anteil des Patterns weniger angenehm erlebt wird und inwiefern tatsächlich Optimierungsbedarf besteht.

Bei dem Pattern „Abbremsen“ lagen beide Bewertungen knapp unter einem Wert von 4. Dies könnte zum einen methodische Gründe haben, da das gezeigte Video sehr kurz war. Allerdings wurde aus dem Testpersonenfeedback ersichtlich, dass nicht alle Teilnehmenden das violette Bremslicht korrekt erkannten und interpretierten. Zudem wurde für die vorliegende Studie nur ein Teil der Gestaltungsempfehlung umgesetzt: das blau-violette Bremslicht. Da dieses nicht von allen Testpersonen korrekt erkannt und interpretiert wurde, könnte eine Berücksichtigung des zweiten Teils der Gestaltungsempfehlung die Salienz des Verhaltens erhöhen. Dazu soll in einer überarbeiteten Version des Bremsverhaltens die Beschleunigungsverringerung durch eine graduelle Reduktion der Lautstärke des Fahrgeräusches deutlich gemacht werden. Das überarbeitete Roboter-Verhalten kann dann in einer Folgestudie erneut evaluiert werden.

Das Pattern „Zurücksetzen“ wurde als verständlich, jedoch nur mittelmäßig angenehm erlebt. Hier könnten durch eine Variation der Umsetzung des Lichtsignals auf dem Roboter (zum Beispiel Verbreitung des LED-Bandes), die User Experience verbessert werden, was es ebenfalls in einer Folgestudie zu evaluieren gilt.

Die Ergebnisse der Auswertung der subjektiven Einschätzungen ist als erster Eindruck zur Verständlichkeit und Angenehmheit der Patterns zu verstehen. Für eine fundiertere Bewertung der Patterns sollte der subjektive Eindruck durch objektive Bewertungsmaße ergänzt werden. Dabei kann zum Beispiel eine Inhaltsanalyse der qualitativen Äußerungen der Testpersonen Aufschluss darüber geben, ob das Kommunikationsziel des Patterns tatsächlich verstanden und die verwendeten Kommunikationsmodalitäten wahrgenommen wurden.

Darüber hinaus ist eine nähere Untersuchung zum Einfluss der Patternimplementierung auf die User Experience geplant. Dazu soll im Rahmen kommender Forschungsaktivitäten der Gesamteindruck des Roboters CR700 ohne Interaktionskonzept (Ursprungszustand) und mit Interaktionskonzept (Kommunikation mittels Patterns) verglichen werden.

Konzepte für die Implementierung der Patterns auf dem Kehrroboter SR1300 liegen vor, wurden aber noch nicht umgesetzt.

4 Ausblick: Anwendungsfelder der Interaction Design Patterns

Die durchgeführte Studie zeigt exemplarisch, wie verständliche und angenehme Patterns zur Kommunikation von Roboterstatus und -intentionen im öffentlichen Raum entwickelt und auf einem Reinigungsroboter implementiert werden können. Die entwickelten Patterns sind per Definition auf andere Roboter und Anwendungsszenarien übertragbar. Im Projekt ZEN-MRI wurde die Übertragbarkeit auf konzeptioneller Ebene demonstriert, indem die entwickelten Patterns sowohl auf den Wisch-Saug-Roboter CR700 als auch den Kehrroboter CR700 angewandt wurden, um deren Kommunikationsverhalten zu optimieren. Auch über den gezeigten Anwendungsbereich hinaus bietet der Pattern-Ansatz großes Potenzial, Interaktionsgestaltung und menschzentrierte Entwicklung robotischer Systeme zu vereinfachen und zu standardisieren, insbesondere im Produktionsbereich und sozialen Kontexten der MRI.

4.1 Gestaltungsstandards für MRI in der Produktion

Die im Rahmen des Beitrags entwickelten Patterns lassen sich direkt auf Roboter im Produktionsumfeld übertragen. Auch dort sind bereits Reinigungs- und Transportroboter im Einsatz, deren Wegstrecken sich mit denen von Mitarbeitenden kreuzen. Diese Roboter könnten daher von erweiterten Kommunikationsfähigkeiten profitieren, um ihren Status oder ihre Bewegungsrichtung transparent zu machen und dadurch kritische Situationen (wie Zusammenstöße) zu vermeiden. Auch bietet der Pattern-Ansatz das Potenzial, die enge Zusammenarbeit von Menschen und Cobots zu optimieren, indem die Roboter auf vorgefertigte, standardisierte Verhaltensmuster zurückgreifen. Insbesondere wenn hier herstellerübergreifende Standards für die MRI etabliert würden, ließen sich Einarbeitungs- und Schulungsaufwand deutlich reduzieren.

4.2 Gestaltungsstandards für MRI in sozialen Kontexten mit Relevanz für die Industrie

Unter Verwendung des Pattern-Ansatzes nach *Pollmann* [4] wurde bereits eine umfangreiche Sammlung von über 40 Patterns für die soziale MRI entwickelt [14]. Diese umfassen insbesondere Gestaltungsempfehlungen zum Kommunikationsverhalten des Roboters während einer verbalen Konversation, zur Kommunikation seines Zustandes und zu Hintergrundprozessen, Feedbackprozessen, dem Ausdruck von Emotionen und interaktivem Verhalten während eines Spieleszenarios. Auch diese Patterns könnten zukünftig an Relevanz gewinnen, wenn innovative Ansätze und Technologien zunehmend Anwendung in industriellen Kontexten finden. So werden durch die wachsende Bedeutung generativer künstlicher Intelligenz (KI) verbale Interaktionsstrategien und Gestaltung von Konversationen wichtiger, um diese den Mitarbeitenden zugänglich zu machen. Auch gewinnen Ansätze von Gamification an Popularität, die ebenso von Gestaltungsempfehlungen der vorhanden Pattern-Sammlung profitieren könnten.

FÖRDERHINWEIS

Das Projekt „ZEN-MRI“ wird gefördert durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt BMFTR (16SV8932).

LITERATUR

[1] Schmidtler, J.; Knott, V.; Hölzel, C. et al.: Human Centered Assistance Applications for the working environment of the future. Occupational Ergonomics 12 (2015) 3, pp. 83–95

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

[2] McGirr, L.; Jin, Y.; Price, M. et al.: Human Robot Collaboration: Taxonomy of Interaction Levels in Manufacturing. 54th International Symposium on Robotics (ISR Europe), 2022, pp. 197–204
[3] Weiss, A.; Wortmeier, A.-K.; Kubicek, B.: Cobots in Industry 4.0: A Roadmap for Future Practice Studies on Human–Robot Collaboration. IEEE Transactions on Human-Machine Systems 51 (2021) 4, pp. 335–345
[4] Pollmann, K.: A Human-Centered Pattern Approach to Comprehensible and Pleasant Behavioral Expressions for Social Robots. Dissertation, University of Stuttgart, 2024
[5] Alexander, C.: The timeless way of building. New York: Oxford University Press 1979
[6] Alexander, C.: A pattern language: towns, buildings, construction. New York: Oxford University Press 1977
[7] Gamma, E.; Helm, R.; Johnson, R. et al.: Design patterns: Abstraction and reuse of object-oriented design. ECOOP'93 – Object-Oriented Programming, 7th European Conference, Kaiserslautern, Germany, 1993, pp. 406–431
[8] Tidwell, J.: Designing Interfaces. Patterns for effective Interaction Design. Canada: O'Reilly Media, Inc. 2010
[9] Borchers, J. O.: A Pattern Approach to Interaction Design. Hoboken, New Jersey/USA: Wiley 2001
[10] Petalson, J.: Modeling Human-Robot-Interaction Based on Generic Interaction Patterns. Dissertation, University of Bielefeld, 2013
[11] Kahn, P. H.; Freier, N. G.; Kanda, T. et al.: Design patterns for sociality in human-robot interaction. Proceedings of the 3rd ACM/IEEE international conference on Human robot interaction. ACM 2008, pp. 97–104
[12] Stadt Ulm: ZEN-MRI Mensch & Roboter in Interaktion. Internet: zen-mri.de/. Zugriff am 17.04.2025
[13] Pollmann, K.: The Modality Card Deck: Co-Creating Multi-Modal Behavioral Expressions for Social Robots with Older Adults. Multimodal Technologies and Interaction 5 (2021) 7, #33, doi.org/10.3390/mti5070033
[14] Fraunhofer IAO: Robot Behavioral Pattern Wiki. Internet: pattern-wiki.iao.fraunhofer.de. Zugriff am 12.06.2025

Dr. Kathrin Pollmann
kathrin.pollmann@iao.fraunhofer.de
Tel. +49 711 / 970-2347

Prof. Dr. Katharina Hölzle
katharina.hoelzle@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Selina Layer, M.Sc.
selina.layer@iat.uni-stuttgart.de

Prof. Dr. Katharina Hölzle

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement, Universität Stuttgart
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
www.iat.uni-stuttgart.de

LIZENZ

Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-06-45 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY