

Neuroergonomische Ansätze in der Gestaltung der Mensch-Roboter-Kooperation zur Erhöhung der Arbeitssicherheit

Sinem KUZ, Christopher M. SCHLICK

*Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

Kurzfassung: Unter Anthropomorphismus wird die Übertragung menschlicher Eigenschaften wie Gestalt oder Verhalten auf Nichtmenschliches verstanden. Die Anwendung auf einen Roboter soll die Arbeitssicherheit, Benutzerakzeptanz und Vertrautheit erhöhen und somit die Effektivität von Mensch-Roboter-Interaktionsprozessen verbessern. Im Umfeld der industriellen Robotik kann Anthropomorphismus als Grundlage hinsichtlich der Planung und Ausführung von Roboterbewegungen dienen. Diesbezüglich wurde in einer experimentellen Untersuchung mit 18 Teilnehmern das Antizipationsverhalten des Menschen auf anthropomorph modellierte Bewegungs- und Geschwindigkeitsprofile eines Industrieroboters untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass das anthropomorphe Profil zu signifikant kürzeren Prädiktionszeiten ohne eine Steigerung der Prädiktionsfehler führt.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kooperation, Arbeitssicherheit, Anthropomorphismus, Spiegelneuronen

1. Einleitung

Kognitive Systeme in der Produktion weisen aufgrund ihrer Eigenschaften ein vom Menschen unabhängiges Systemverhalten auf. Als Bediener hat der Mensch lediglich ein abstraktes Ziel zu definieren, während die Planung und die Umsetzung der einzelnen Prozessschritte dem System überlassen werden. Infolgedessen ist eine gewisse Systemintransparenz unvermeidbar, da der Mensch auf die Interpretation des Maschinenverhaltens angewiesen ist. Dies kann durch die Implementierung von anthropomorphen Merkmalen wie menschliches Aussehen bzw. Verhalten erhöht werden (Duffy 2003). Bisher wurde die anthropomorphe Gestaltung von Robotern meistens im Bereich der Dienstleistung erforscht, während der Fokus in der Industrie eher auf Faktoren wie der Produktionsgeschwindigkeit, der Sicherheit oder der Effizienz im maschinellen Verbund lag. Die Herausforderung besteht somit darin, die Kooperationsfähigkeit industrieller Roboter unter besonderer Berücksichtigung der Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen herbeizuführen. Dazu ist das Verhalten des Roboters an die Erwartungshaltung des Menschen anzupassen.

Auf Basis dieser Aspekte beschäftigt sich ein Teilprojekt des Exzellenzclusters „Integrative Produktionstechnik in Hochlohnländern“ mit dem Zusammenwirken von Mensch und Maschine in selbstoptimierenden Produktionssystemen. Das Ziel ist dabei, dass Mensch und kognitiv automatisiertes System im Sinne eines soziotechnischen Systems fehlerfrei funktionieren können und das System als Teampartner akzeptiert wird. Hierzu wurde eine experimentelle Montagezelle mit einem KUKA KR30 Portalroboter entwickelt (Kempf et al. 2008). Basierend auf

wissenschaftlichen Erkenntnissen bezüglich der neuronalen Aktivität im Gehirn während der Beobachtung menschlicher Bewegungen wird der Schwerpunkt der Untersuchungen im Rahmen des Teilprojektes zur Erhöhung der Transparenz und somit Steigerung der Arbeitssicherheit in industriellen Umgebungen auf die Verwendung von anthropomorphen Elementen in der Bewegungssteuerung des Roboters gelegt.

Bei den wissenschaftlichen Untersuchungen zur neuronalen Aktivität handelt es sich um die Betrachtung der sogenannten Spiegelneuronen, die erstmals durch Untersuchungen an Primaten entdeckt wurden (Rizzolatti et al. 1996). Diese auch bei Menschen vorhandenen Nervenzellen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie sowohl bei der Beobachtung als auch der Ausführung einer Handlung aktiviert werden. Die Aktivität der Spiegelneuronen steht in engem Zusammenhang mit der Vorhersage von weiteren Handlungen und der Einschätzung der Intention des Gegenübers. Deshalb wurde im Rahmen einer experimentellen Studie untersucht, welchen Einfluss anthropomorph modellierte Trajektorien eines Portalroboters auf die Prädiktionsgenauigkeit und -dauer von Zielpositionen des entsprechenden Endeffektors beim Menschen haben. Dieser Beitrag fasst die ersten Ergebnisse der empirischen Studie mit 18 männlichen Teilnehmern in Bezug auf die Prädiktionsdauer, die Prädiktionsgenauigkeit und die Blickbewegungsdaten zusammen.

2. Methodik

Das dargestellte Konzept ist eine Weiterführung der Studien von Kuz et al. (2014). Auf Basis der bereits ermittelten Ergebnisse sollen diese in einer virtuellen Umgebung durchgeführten Versuchsreihen im Rahmen einer späteren Untersuchung mittels einer realen Versuchsanordnung validiert werden. Für eine derartige Umsetzung müssen aufgrund der Kinematik des Roboters in der Realität bestimmte Parameter wie Blickwinkel oder Abstand zum Versuchsobjekt optimiert werden. Auf Basis von in der bereits erwähnten Montagezelle durchgeführten Messungen wurden die Position des maßstabgetreuen Quadratgitters und die maximal erreichbare Höhe der Versuchsperson neu berechnet und zu einer erneuten Validierung in der virtuellen Versuchsumgebung eingestellt. Die Simulation setzt sich aus einem KUKA KR30 Portalroboter und dem davor positionierten Ablagefeld (20 Felder) zusammen (siehe Abbildung 2.1 links). Um zusätzlich das Blickverhalten der Probanden während der Beobachtung der präsentierten Bewegungsmuster zu untersuchen, wurde ein monitorbasiertes Eye-Tracking System eingesetzt, das aus einem 22“ LCD-Monitor mit integrierten Infrarotsensoren zur Blickregistrierung besteht. Die Eingabe der Prädiktion erfolgte über eine Standardtastatur. Die Einhaltung des Sehabstands und der Kalibrierung wurde mittels einer Kinnstütze realisiert (siehe Abbildung 2.1 rechts).

Die verwendeten Bewegungsbahnen des Portalroboters entstanden im Rahmen der Studie von Kuz et. al (2014). Hierbei wurden zunächst mittels eines Infrarot-Tracking-Systems 20 Platzierungsbewegungen mit unterschiedlichen Zielpositionen aufgenommen und für die Übertragung auf die virtuelle Versuchsumgebung angepasst. Im Anschluss wurden diese mit sowohl anthropomorphen als auch konstanten Geschwindigkeitsprofilen kombiniert, so dass insgesamt 40 Bewegungen für die Versuchsreihe generiert werden konnten. Während des Hauptexperiments sollten die Teilnehmer die 40 Bewegungsbahnen beobachten und das Zielfeld dieser

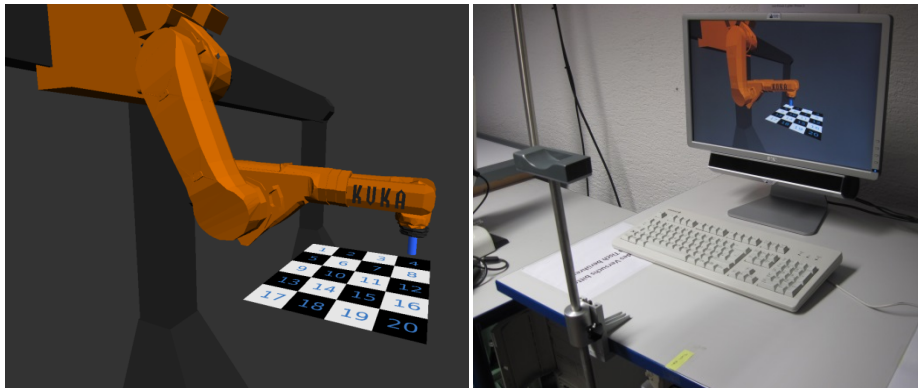


Abbildung 2.1: Virtueller Aufbau der Versuchsszene (links) und Aufbau der Versuchsumgebung (rechts)

Bewegung vorhersagen. Hierbei sollte die Versuchsperson, nachdem eine Zielposition erkannt wurde, die Bewegung mit der Leertaste anhalten und im Anschluss die Nummer des vermuteten Zielorts nennen (vgl. Abbildung 2.1 links). Diese vorhergesagte Zielposition wurde durch den Versuchsleiter protokolliert.

An der Untersuchung nahmen insgesamt 18 männliche Probanden im Alter von 19 bis 31 Jahren teil (Durchschnitt 25,39 Jahre, Standardabweichung 3,43). Als unabhängige Variablen wurden die Robotertrajektorien mit zwei Geschwindigkeitsprofilen (anthropomorph und konstant) und die Feldposition mit 20 Stufen betrachtet. Als abhängige Variablen wurden die Prädiktionsdauer, die Prädiktionsgenauigkeit und die Blickdaten untersucht. Zur Vermeidung möglicher Reihenfolgeeffekte wurden die Versuchsbedingungen vor jeder Versuchsdurchführung permutiert. Zur Auswertung der Daten wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ berechnet.

3. Ergebnisse

Die durchschnittliche Reaktionszeit der Probanden beim konstanten Geschwindigkeitsprofil lag bei 1658,23 ms und beim anthropomorphen Profil bei 1239,96 ms (siehe Abbildung 3.1). Inferenzstatistische Analysen zeigt, dass nicht nur die zwei unterschiedlichen Geschwindigkeitsprofile ($F(1;17) = 736,152$, $p < 0,001$) sondern auch die Feldposition ($F(7;333;124,662) = 92,273$, $p < 0,001$) einen signifikanten Effekt auf die Prädiktionsdauer haben. Darüber hinaus ergibt sich ein starker Effekt ($\omega^2 = 0,911$) des Geschwindigkeitsprofils sowie der Feldposition ($\omega^2 = 0,606$). Bei der Betrachtung der Interaktionseffekte treten ebenfalls signifikante Werte zwischen diesen beiden unabhängigen Variablen auf ($F(7,252;123,279) = 12,114$, $p < 0,001$). Diese Interaktion ist jedoch ordinal, sodass die Hauptvariablen unabhängig voneinander interpretiert werden können. Darüber hinaus gilt, dass die Reaktionszeiten für von der Startposition weiter entfernte Distanzen höhere Werte aufweisen. Diese Tatsache ist erwartungskonform, da die Platzierungsbewegung für weiter entfernte Distanzen im Vergleich zu den Zielpositionen, die sich in unmittelbarer Nähe der Startposition der Bewegung befinden, eine längere Dauer benötigt. Folglich mussten die Teilnehmer während der Durchführung insgesamt 720 Bewegungssequenzen (jeweils 360 pro Geschwindigkeitsprofil) vorhersagen.

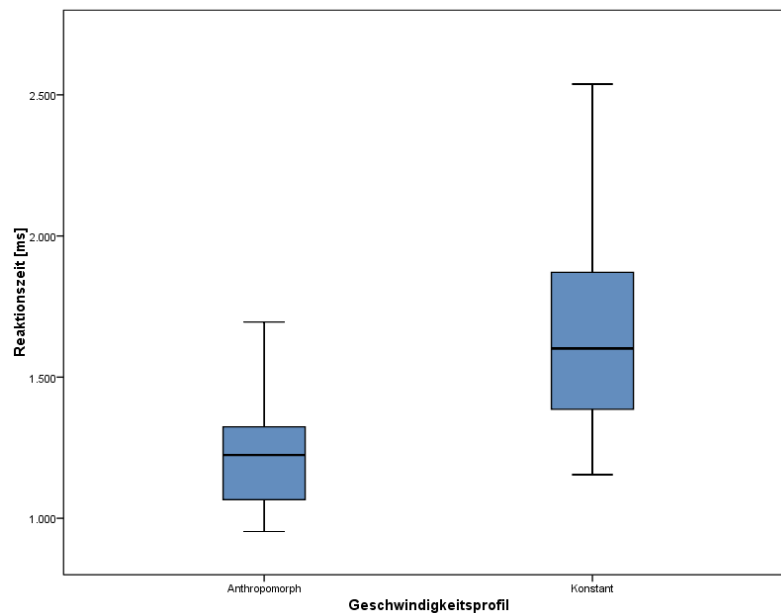


Abbildung 3.1: Boxplot mit Min-, Max-Werten sowie 1. und 3. Quartil

Insgesamt 511 wurden dabei von den Teilnehmern richtig erkannt. Dabei wurde 278 Mal beim anthropomorphen und 233 Mal beim konstanten Geschwindigkeitsprofil korrekt vorhergesagt (siehe Abbildung 3.2). 168 der vorhergesagten Zielfelder stimmten mit dem tatsächlichen Ablagefeld nicht überein, wobei beim konstanten Profil 89 Mal und beim anthropomorphen Profil 79 Mal das falsche Zielfeld angegeben wurde. Schließlich wurden 41 Prädiktionen nicht innerhalb der Dauer der Bewegung abgegeben. Dabei entfielen 3 fehlende Prädiktionen auf das anthropomorphe und 38 auf das konstante Profil. Statistische Untersuchungen zeigen, dass die Unterschiede zwischen den korrekten, inkorrekten und fehlenden Prädiktionen signifikant sind ($\chi^2(2, N=720) = 34,436, p < 0,001$).

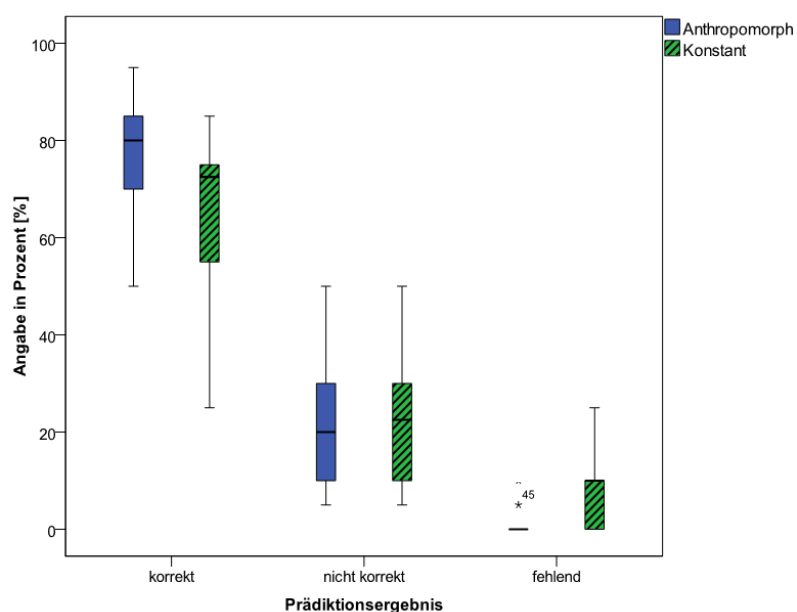


Abbildung 3.2: Vergleich der Prädiktionsergebnisse

Für die Auswertung der Blickdaten wurden die Gelenke, das Quadratgitter und der Endeffektor als „Areas of interests“ (AOI) definiert (siehe Abbildung 3.3). Analysiert wurden zunächst die Anzahl der Fixationen innerhalb der vordefinierten AOIs. Mit einer Anzahl von 1584 konzentrieren sich die meisten Fixationen auf das Quadratgitter. Auf das AOI „Endeffektor“ entfallen ca. ein Viertel aller Fixationen (575).

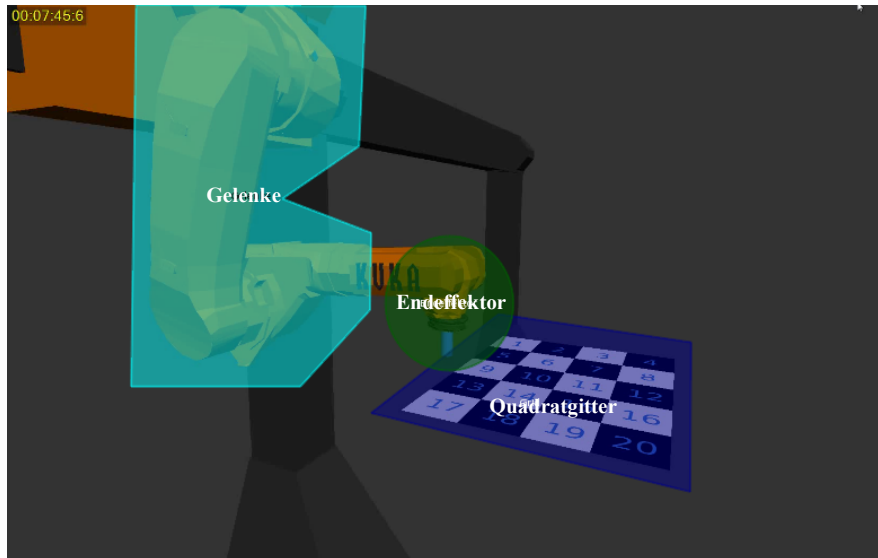


Abbildung 3.3: Die definierten AOIs

Bemerkenswert ist, dass die Anzahl der Fixationen für das AOI „Gelenke“ lediglich bei 13 liegt, obwohl dieses Areal im Durchschnitt 21,4% der Gesamtbildschirmoberfläche ausmacht. Dafür betragen die Anteile „Endeffektor“ und „Quadratgitter“ nur 2,7% bzw. 7,1%. Darüber hinaus wurde die durchschnittliche Fixationsdauer je AOI und Proband näher analysiert. Hierbei fallen die Unterschiede noch deutlicher aus: Das Quadratgitter weist mit 354,37 s den größten Anteil an Gesamtfixationsdauer auf. Für den Endeffektor ergibt sich hingegen eine durchschnittliche Fixationsdauer von 91,49 s während der Anteil der Gelenke nur noch 0,97 s beträgt.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Untersuchungen war es, die bereits ermittelten Ergebnisse bezüglich der Auswirkungen von anthropomorphen Bewegungsbahnen eines Portalroboters auf die Prädiktionsdauer sowie die Prädiktionsgenauigkeit zu validieren und die Versuchsumgebung realitätsnah zu gestalten. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein anthropomorph gestaltetes Geschwindigkeitsprofil in industriellen Umgebungen vermutlich ein erhöhtes Sicherheitsgefühl vermitteln kann. So haben die Probanden ihre Eingaben bei der Präsentation der Bewegungen mit anthropomorphem Geschwindigkeitsprofil insgesamt schneller und häufiger als im Fall des konstanten Geschwindigkeitsprofils geäußert. Trotz der schnelleren Bearbeitungszeit und geringeren Anzahl an fehlenden Prädiktionen wurden jedoch nicht mehr Prädiktionsfehler registriert, so dass ein „Speed-Accuracy Tradeoff“

statistisch ausgeschlossen werden konnte. Weiterhin deuten die Ergebnisse der Blickbewegungsdaten darauf hin, dass die Probanden während des Bewegungsablaufs nicht auf die Gelenke des Roboters, sondern eher auf den Endeffektor und das Zielfeld achten. Damit kann vermutlich davon ausgegangen werden, dass für die Interpretation einer von einem Industrieroboter ausgeführten Bewegung nicht die Position und Bewegungsmuster der Gelenke, sondern die Bewegungsbahn und das Geschwindigkeitsprofil maßgebend sind. Die aufgeführten Resultate geben bereits einen ersten Hinweis darauf, dass anthropomorph modellierte Geschwindigkeitsprofile die Mensch-Roboter-Kooperation in der Montage optimieren können. Die ermittelten Ergebnisse werden aktuell in der bereits erwähnten kognitiven Montagezelle mit einem KUKA KR30 Portalroboter validiert.

5. Literatur

- Duffy, B. (2003): Anthropomorphism and The Social Robot. Special Issue on Socially Interactive Robots, *Robotics and Autonomous Systems*, 42 (3-4), 177–190.
- Kempf, T., W. Herfs, und Ch. Brecher (2008): Cognitive Control Technology for a Self-Optimizing Robot Based Assembly Cell. Proceedings of the ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers.
- Kuz, S., J. Bützler und C. M. Schlick (2014): Anthropomorphismus in der ergonomischen Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion in Montagezellen. 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, TU und Hochschule München, 513-515.
- Rizzolatti, G., L. Fadiga, V. Gallese, und L. Fogassi (1996): Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, 131–141.

Danksagung: Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), welche im Rahmen des Exzellenzclusters „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ die vorgestellten Arbeiten fördert.