

## **Mensch-Roboter-Interaktion im Kontext von Industrie 4.0: Annähern-Meiden-Tendenzen als ein Bewertungsmerkmal für die affektive Qualität der Interaktion?**

Gerhard RINKENAUER<sup>1</sup>, Adrian BÖCKENKAMP<sup>2</sup>, Frank WEICHERT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund  
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

<sup>2</sup> *Informatik VII, TU Dortmund  
Otto-Hahn-Straße 16, D-44227 Dortmund*

**Kurzfassung:** Im Kontext von Industrie 4.0 wird zunehmend die enge Einbindung des Menschen in bisher primär Roboter-gestützte Arbeitsplätze angestrebt. Zur Untersuchung der kooperativen Interaktion zwischen Mensch und Roboter wurde eine entsprechende exemplarische Konstellation für einen Industrieroboter unter kontrollierten Bedingungen entwickelt. Probanden wurden instruiert kurze und lange Zielbewegungen auf den Roboter zu oder davon weg auszuführen. Der Roboter war dabei entweder aktiv oder passiv. In den Bewegungstrajektorien und der Körperhaltung zeigen sich Annähern-Meiden-Muster die Rückschlüsse darüber erlauben, wie die Interaktionssituation vom Nutzer implizit bewertet wird.

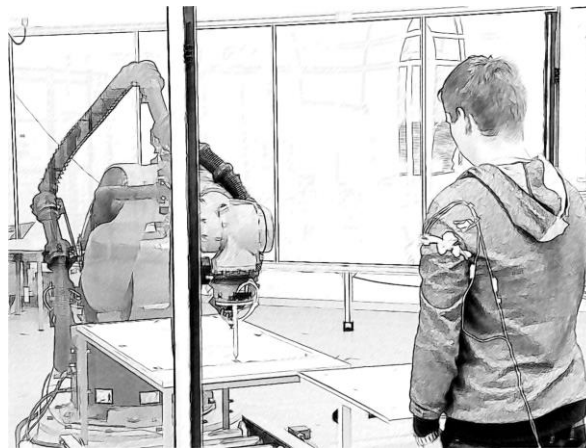
**Schlüsselwörter:** Mensch-Roboter-Interaktion, Annähern-Meiden-Verhalten, Bewegungsanalyse, Industrie 4.0

### **1. Einleitung**

Im Kontext von Industrie 4.0 wird zunehmend die enge Einbindung des Menschen in bisher primär Roboter-gestützte Arbeitsplätze angestrebt. Es ist bisher kaum untersucht worden, wie sich das Bewegungsverhalten des Menschen bei der Interaktion mit einem Roboter verändert. Veränderungen im Bewegungsmuster könnten zum einen Hinweise dafür liefern, wie die willkürliche Bewegungssteuerung des Menschen durch den Roboter beeinflusst wird (z. B. Ausweichbewegungen). Darüber hinaus können Veränderungen von Bewegungsmustern aber auch Hinweise auf die affektive Bewertung der Interaktionssituation durch den Nutzer geben. Ziel dieser Studie war es daher zu untersuchen, inwieweit sich bei der Roboterinteraktion bereits einfache Zielbewegungen verändern können. Als theoretischer Rahmen wird der sogenannte Aufsuchen-Meiden-Konflikt aus der Motivationspsychologie gewählt (Levin, 1938; Miller, 1959). Nach diesem Konzept sollten Objekte oder Situationen je nach affektiver Bewertung (positiv oder negativ) eher Annäherungs- oder Meiden-Tendenzen in den Bewegungsmustern hervorrufen (Eerland, Guadalupe, Franken, Zwaan, 2012; van Dantzig, Pecher, Zwaan, 2008; Puca, Rinkenauer, Breidenstein, 2006). Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass Handlungen die zur Distanzverringerung führen, eine eher positive Bewertung und Handlungen die zur Distanzvergrößerung führen, eine eher negative Bewertung zugrunde liegt. Basierend auf dieser Idee wurde in dieser Studie die Frage untersucht, auf welche Art die Interaktion des Menschen mit einem Roboter die menschlichen Bewegungsmuster verändert und inwieweit Annäherungs-Meiden-Muster aus den Bewegungen und der Körperhaltung abgeleitet werden können.

## 2. Methode

Für die Untersuchung wurde ein Industrieroboter (Typ KUKA KR 125-3) eingesetzt, der sich in einer Sicherheitszelle befand (Abbildung 1). Die Probanden standen in einer Distanz von ca. 3,5 m frontal vor dem Roboter. Vor den Probanden befand sich eine 9-Felder-Tafel, die genutzt wurde, um Zielbewegungen mit unterschiedlicher Bewegungsdistanz (kurz vs. lang) und unterschiedlicher Bewegungsrichtung (auf den Roboter zu vs. von dem Roboter weg) auszuführen. Eine ähnliche 9-Felder-Tafel befand sich vor dem Roboter. Der Roboter war entweder aktiv oder passiv. In der aktiven Roboterbedingung wurden die Zielbewegungen mit entsprechender Richtung oder Distanz zuerst von dem Roboter vorgeführt und dann spiegelbildlich von dem Probanden nachvollzogen. In der passiven Bedingung befand sich der Roboter in Ruhestellung und die Bewegungsmuster wurden über synthetisch generierte Sprachanweisungen vorgegeben. Bewegungstrajektorien und Körperhaltung wurden mithilfe eines optischen Trackingsystems (Optotrak Certus) aufgezeichnet. Zur Erfassung der Bewegungstrajektorien wurden zwei Marker am rechten Zeigefinger und zur Erfassung der Körperhaltung zwei weitere Marker an der linken Schulter befestigt.



**Abbildung 1:** Im Versuchsaufbau steht der Proband frontal vor dem Roboter. Vor dem Probanden und vor dem Roboter befindet sich jeweils eine 9-Felder-Tafel auf der Zielbewegungen mit kurzen oder langen Bewegungsdistanzen durchgeführt werden. Je nach Bewegungsrichtung bewegen sich Proband und Roboter aufeinander zu oder voneinander weg.

Bei dem verwendeten Versuchsdesign handelt es sich um einen dreifaktoriellen Versuchsplan in dem die Faktoren *Roboterbedingung* (aktiv, passiv), *Bewegungsrichtung* (vorwärts, rückwärts) und *Bewegungsdistanz* (kurz, lang) orthogonal variiert wurden. Als abhängige Variablen wurden die mittlere Bewegungsgeschwindigkeit der durchgeführten Zielbewegungen und die Position des Oberkörpers (Schulter) verwendet.

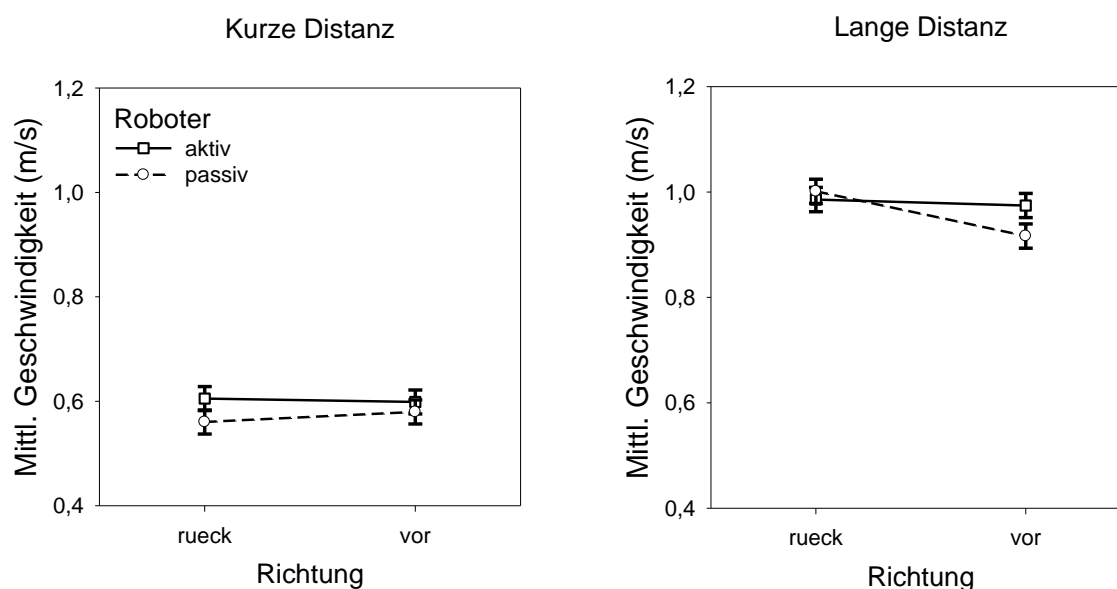
An dem Experiment nahmen 8 Versuchspersonen (5 davon weiblich) mit einem mittleren Alter von 25,6 (SD = 3,2) Jahren und normalem Sehvermögen teil. Das Experiment dauerte ca. 1,5 Stunden und die Probanden erhielten entweder eine Aufwandsentschädigung von 20 € oder konnten sich die Zeit für ihr Studium anrechnen lassen.

Erwartet wird, dass sich Bewegungsmuster und Körperhaltung der Probanden zwischen aktiver und passiver Roboterbedingung unterscheiden. Analog zu

Befunden aus der Motivationspsychologie gehen wir davon aus, dass die Hinbewegung auf Objekte oder Situationen, die als eher positiv bewertet werden, mit höherer Kraft ausgeführt wird als auf Objekte oder Situationen, die weniger positiv oder gar negativ bewertet werden (z. B. Puca et al., 2006). In Bezug auf die Körperhaltung wird erwartet, dass bei einer eher positiven Bewertung eines Objektes oder einer Situation eine geringere Körperdistanz eingenommen wird als bei weniger positiv oder gar negativ bewerteten Situationen (z. B. Eerland et al., 2012). Interessant ist daher bei den folgenden Analysen inwieweit eine statistisch bedeutsame Interaktion zwischen Roboterbedingung und Bewegungsrichtung gezeigt werden kann.

### 3. Ergebnisse

Für die mittlere Bewegungsgeschwindigkeit und die Körperhaltung wurden separate Varianzanalysen mit den Faktoren Roboterbedingung (aktiv, passiv)  $\times$  Bewegungsrichtung (vorwärts, rückwärts)  $\times$  Bewegungsdistanz (kurz, lang) durchgeführt. Die mittlere Bewegungsgeschwindigkeit wurde aus den Bewegungsdistanzen und Bewegungszeiten der einzelnen Zielbewegungen berechnet. Die mittlere Distanz für kurze Bewegungen betrug 23 cm (SD = 1,1 cm) und für lange Bewegungen 45 cm (SD = 1,5 cm).

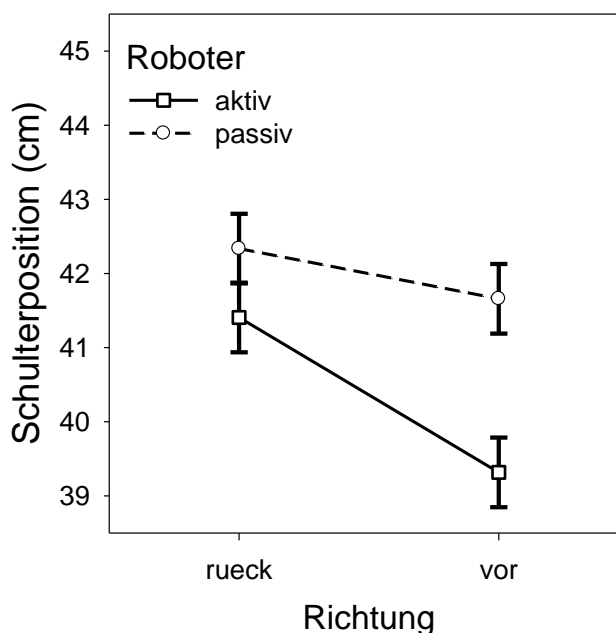


**Abbildung 2:** Linke Abbildung: Mittlere Bewegungsgeschwindigkeit als Funktion von Bewegungsrichtung (rückwärts, vorwärts) und Roboterbedingung (aktiv, passiv) für die kurzen Bewegungsdistanzen. Rechte Abbildung: Mittlere Bewegungsgeschwindigkeit als Funktion von Bewegungsrichtung (rückwärts, vorwärts) und Roboterbedingung (aktiv, passiv) für die langen Bewegungsdistanzen. Als Fehlermaß wird Fisher's Least Significant Differences verwendet.

**Bewegungsgeschwindigkeit:** In der Abbildung 2 ist die Bewegungsgeschwindigkeit als Funktion der drei Faktoren dargestellt. Die Analysen zeigen einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Bewegungsdistanz  $F(1,7) = 115,0$ ;  $p < 0,001$ . Lange Distanzen wurden mit einer höheren Geschwindigkeit ausgeführt als kurze ( $0,97 \text{ m/s}$  vs.  $0,56 \text{ m/s}$ ). Die Interaktion zwischen Roboterbedingung und Bewegungsrichtung zeigt einen deutlichen Trend,  $F(1,7) = 4,3$ ;  $p = 0,067$ . Separate Analysen zeigen,

dass diese Interaktion für die langen Bewegungsdistanzen signifikant ist,  $F(1,7) = 7,5$ ;  $p < 0,05$ , für die kurzen Bewegungsdistanzen jedoch nicht,  $F(1,7) = 2,3$ ;  $p = 0,18$ . Die in Abbildung 2 dargestellte Dreifachinteraktion ist wiederum statistisch bedeutsam,  $F(1,7) = 6,4$ ;  $p < 0,05$ , was nahelegt, dass die Interaktion zwischen Roboterbedingung und Bewegungsrichtung durch die Bewegungsdistanz moduliert wird. Insgesamt legen die Bewegungsergebnisse nahe, dass sich nur für lange Vorwärtsbewegungen Geschwindigkeitsunterschiede in Abhängigkeit der Roboteraktivität zeigen. Diese Bewegungen werden mit höherer Geschwindigkeit, und dementsprechend mit höherer Kraft ausgeführt, sobald der Roboter aktiv ist.

**Körperhaltung:** Abbildung 3 zeigt die Schulterposition als Funktion von Bewegungsrichtung und Roboterbedingung. Die Zahlenwerte stellen die Schulterposition auf der  $x$ -Achse in Richtung des Roboters dar und beziehen sich auf den Nullpunkt des Optotrak-Systems. Je niedriger diese Werte ausfallen, desto kürzer ist die eingenommene Distanz zum Roboter. Die in Abbildung 3 dargestellte Interaktion,  $F(1,7) = 6,2$ ;  $p < 0,05$ , zeigt, dass bei den Vorwärtsbewegungen der Oberkörper näher zum Roboter gebracht wird, wenn der Roboter aktiv ist, als wenn dieser passiv ist (39,3 cm vs. 41,7 cm),  $t(7) = 2,45$ ;  $p < 0,05$ . Für die Rückwärtsbewegungen unterscheiden sich die Schulterpositionen nicht signifikant,  $t(7) = 0,68$ ;  $p = 0,52$ . Des Weiteren zeigen die Analysen für die Körperhaltung einen signifikanten Haupteffekt für die Bewegungsdistanz,  $F(1,7) = 13,0$ ;  $p < 0,01$ . Bei Bewegungen mit langer Distanz wird der Oberkörper weiter vorgelehnt (40,3 cm) als bei Bewegungen mit kurzer Distanz (41,9 cm). Dieser Effekt der Bewegungsweite wird zusätzlich durch die Bewegungsrichtung moduliert,  $F(1,7) = 8,4$ ;  $p < 0,05$ .



**Abbildung 3:** Schulterposition als Funktion von Bewegungsrichtung (rückwärts, vorwärts) und Roboterbedingung (aktiv, passiv) für die kurzen Bewegungsdistanzen. Als Fehlermaß wird Fisher's Least Significant Differences verwendet.

## 4. Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es zu untersuchen, inwieweit sich bei der direkten Interaktion eines Menschen mit einem Roboter einfache Zielbewegungen verändern. Als theoretischer Rahmen wurde der sogenannte Aufsuchen-Meiden-Konflikt aus der Motivationspsychologie gewählt (Levin, 1938; Miller, 1959). Nach diesem Konzept sollten Objekte oder Situationen je nach affektiver Bewertung (positiv oder negativ) eher Annäherungs- oder Meiden-Tendenzen in den Bewegungsmustern hervorrufen (Eerland, Guadalupe, Franken, Zwaan, 2012; van Dantzig, Pecher, Zwaan, 2008; Puca, Rinkenauer, Breidenstein, 2006). Generell belegen die Befunde, dass durch aktive Interaktion mit dem Roboter sowohl das Bewegungsverhalten der Probanden als auch deren Körperhaltung beeinflusst wird. In Bezug auf die Handbewegungen zeigt sich nur für Bewegungen mit langen Distanzen ein Effekt der Roboteraktivität auf die Bewegungsgeschwindigkeit. Die Probanden bewegen sich auf den aktiven Roboter schneller zu als auf den passiven. Eine vorläufige Interpretation ist, dass der aktive Roboter implizit eher positiver bewertet wird als der passive. Diese Interpretation wird prinzipiell auch durch die Befunde zur Körperhaltung gestützt. Hier zeigt sich, dass die Probanden ihre Oberkörperdistanz in der aktiven Roboterbedingung leicht reduzieren. Aus Sicht der Motivationspsychologie (z. B. van Dantzig et al., 2011; Puca et al., 2006) könnte das distanzreduzierende Verhalten (höherer Aufwand in der Annäherungsbewegung, Verringern des Körperabstands) als Hinweis für eine positivere Bewertung des aktiven gegenüber dem passiven Roboter interpretiert werden. Eine Einschränkung der aktuellen Studie besteht jedoch darin, dass nicht beurteilt werden kann, inwieweit die Bewegungen der Probanden durch die Bewegungsart des Roboters beeinflusst wurden und dadurch die Unterschiede in den Bewegungsmustern zustande kommen. In einer aktuellen Folgestudie wird daher zusätzlich das Bewegungsmuster des Roboters variiert.

## 5. Literatur

- Dantzig van S, Pecher D, Zwaan RA (2008) Approach and avoidance as action effects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 61: 1298-1306.
- Eerland A, Guadalupe TM, Franken IHA, Zwaan RA (2012) Posture as Index for Approach-Avoidance Behavior. *PLoS ONE* 7(2): e31291. doi:10.1371/journal.pone.0031291.
- Lewin K (1938) *The conceptual representation and the measurement of psychological forces*. Durham, NC: Duke University Press.
- Miller NE (1959) Liberalization of basic S-R concepts: Extensions to conflict behavior, motivation, and social learning. In: Koch S (Ed) *Psychology: The study of a science*, Volume II. New York: McGraw-Hill, 196-292.
- Puca RM, Rinkenauer G, Breidenstein C. (2006) Individual differences in approach and avoidance movements: how the avoidance motive influences response force. *Journal of Personality*. 74: 979-1014.
- Stins, JF, Beek, PJ (2011) Organization of voluntary stepping in response to emotion-inducing pictures. *Gait & Posture*. 34:164-168

**Danksagung:** Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Martin Behrendt für die Unterstützung bei der Datenerhebung, Herrn Hanno Mussmann für die Unterstützung bei der Datenaufbereitung und dem Fraunhofer IML für die Zurverfügungstellung des Roboters. Die Arbeit wurde durch das Projekt SMART FACE (BMW, Nr. 01MA13007) unterstützt.