

Rüdiger Spillner

**Einsatz und Planung von Roboterassistenz
zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen
in der Produktion**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 296

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2014

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere
die der Übersetzung, des Nachdrucks, der
Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe
auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege
und der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser
Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2015

ISBN 978-3-8316-4450-6

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Verzeichnis der Formelzeichen	V
Verzeichnis der Abkürzungen	VII
1 Einleitung	1
1.1 Situation und Motivation	1
1.1.1 Der demographische Wandel	1
1.1.2 Alter, Gesundheit und Arbeitsfähigkeit	2
1.1.3 Roboterassistenz in der Produktion	3
1.2 Allgemeine Zielsetzung	4
1.3 Vorgehen und Aufbau der Arbeit	4
2 Integration Leistungsgewandelter	6
2.1 Definitionen und Grundlagen	6
2.1.1 Leistungswandlung	6
2.1.2 Gesundheit	7
2.1.3 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	7
2.1.4 Eingruppierung von Leistungswandlungen	7
2.1.5 Montagesystemplanung	9
2.2 Betriebliche Maßnahmen zum Umgang mit Leistungswandlungen und Einsatz einschränkungen	13
2.2.1 Übersicht und Einordnung der Maßnahmen	13
2.2.2 Prävention	15
2.2.3 Integration	18
2.2.4 Reintegration	29
2.2.5 Vorgehen zur Maßnahmeneinführung	31
2.3 Zwischenfazit	34
3 Mensch-Roboter-Kooperation und Roboterassistenz	35
3.1 Definitionen und Grundlagen	35
3.1.1 Montage, Handhabung	35

3.1.2 Industrie-, Service-, Assistenzroboter	35
3.1.3 Mensch-Roboter-Kooperation	36
3.1.4 Normen und Regelungen	38
3.2 Technische und organisatorische Schlüsselemente	39
3.2.1 Schlüsselemente	39
3.2.2 Sichere Zusammenarbeit und Koexistenz	39
3.2.3 Ortsflexibilität, Mobilität, Formfaktor	48
3.2.4 Modulare und vernetzte Maschinen	49
3.2.5 Flexible Endeffektoren	50
3.2.6 Interaktion und Programmierung	51
3.2.7 Verankerung in Unternehmen	56
3.2.8 Akzeptanz	59
3.3 Kooperative und kollaborative Handhabung	66
3.4 Einschätzung der Technologiereife	72
3.5 Zwischenfazit	74
3.6 Ableitung des Handlungsbedarfs	75
4 Möglichkeiten robotergestützter Assistenz innerhalb betrieblicher Maßnahmen	77
4.1 Potenzial robotergestützter Maßnahmen zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen	77
4.1.1 Einschätzung des Maßnahmenpotenzials	77
4.1.2 Synthese allgemeiner robotergestützter Maßnahmen	78
4.2 Handhabungsassistenz und Leistungswandlung	82
4.2.1 Erörterung	82
4.2.2 Bewertung und Übersicht	83
4.3 Darstellung archetypischer Maßnahmen und Einsatzbeispiele	85
4.3.1 Beispiele allgemeiner und arbeitsplatzübergreifender, bereichsbezogener Maßnahmen	86
4.3.2 Assistenzbeispiele auf Arbeitsplatzebene	87

4.4	Zusammenfassung	98
5	Planung von Roboterassistenz	99
5.1	Ableitung eines Planungs- und Entwicklungsvorgehens	99
5.1.1	Anforderungen	100
5.1.2	Hinreichende Detaillierung eines Roboterassistenzsystems	101
5.1.3	Zeitpunkt	102
5.1.4	Maßnahmenbeschreibung	107
5.2	Planung von Roboterassistenz für Handhabungsprozesse	111
5.2.1	Analyse Assistenzbedarf	112
5.2.2	Vorauswahl bestehender Lösungen per Profilvergleich	116
5.2.3	Konzeption neuer Assistenzsysteme auf Prozessebene	118
5.2.4	Prüfung der Arbeitsinhalte	125
5.2.5	Integration zusätzlicher Aufgaben	126
5.2.6	Layout	126
5.2.7	Bewertung von Assistenz und Ergonomie	133
5.2.8	Einschätzung zur Akzeptanz	135
5.2.9	Kostenbewertung	137
5.2.10	Entscheidung und Maßnahmenbeschreibung	139
5.3	Zusammenfassung	140
6	Beispielhafte Anwendung des Vorgehens	141
6.1	Ausgangssituation	141
6.1.1	Arbeitsinhalt, Layout	141
6.1.2	Rahmenbedingungen und Vorgaben	142
6.2	Analyse Assistenzbedarf	143
6.2.1	Belastungs-, Gefährdungsanalyse	143
6.2.2	Handlungs- und Assistenzbedarf	143
6.2.3	Vorauswahl bestehender Lösungen	145
6.3	Konzeption	146

6.3.1	Betrachtung der Handhabungsschritte	146
6.3.2	Kombination von Teillösungen auf Grobkonzeptebene	147
6.3.3	Detailkonzept	149
6.4	Konzeptdetaillierung und -prüfung	151
6.4.1	Prüfung der Arbeitsinhalte	151
6.4.2	Integration zusätzlicher Aufgaben	151
6.4.3	Layout	152
6.4.4	Bewertung von Assistenz und Ergonomie	159
6.4.5	Einschätzung zur Akzeptanz	159
6.4.6	Kostenbewertung	160
6.4.7	Verallgemeinerung der wirtschaftlichen Einsatzbereiche	162
6.5	Zusammenfassung	164
7	Resümee	165
8	Literaturverzeichnis	168
9	Anhang	A-1
9.1	Vergleich Montageplanungsvorgehen	A-1
9.2	Beispiele von Arbeitsplatzanpassungen	A-2
9.3	Funktionen der Montage und Handhabung	A-4
9.4	Regelungen für Robotereinsatz in Personennähe	A-5
9.5	Ansätze betrieblicher Maßnahmen zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen mit Roboterunterstützung	A-8
9.6	Diskussion der Ausführungsarten kooperativer Handhabung	A-18
9.7	Eingrenzung gültiger Arbeitsbereiche	A-27
9.8	Diskussion unterschiedlicher Ausführungsvarianten	A-28
9.9	Pick-By-Wire Modul	A-30
10	Studienarbeiten	A-40
11	Veröffentlichungen	A-42

1 Einleitung

1.1 Situation und Motivation

1.1.1 Der demographische Wandel

Europa und Deutschland erfahren einen drastischen demographischen Wandel. Die Bevölkerung altert, vgl. Abbildung 1. Der Altersmedian der EU-25-Bevölkerung steigt bis 2050 voraussichtlich auf 49 Jahre (EK RSDA 2007). Die Ursachen liegen in der gestiegenen Lebenserwartung, den geringen Geburtenraten und einer begrenzten Einwanderung Jüngerer. In Folge werden dem Arbeitsmarkt bis 2050 mehr ältere, gleichzeitig aber 20 % weniger Arbeitskräfte als noch 2004 zur Verfügung stehen, was das potenzielle Wachstum des Brutto-sozialprodukts halbiert (ebenda). Während die alternde Gesellschaft hohe Anforderungen an die sozialen Sicherungssysteme stellt, verdoppelt sich das Rentner-zu-Arbeitstätigen-Verhältnis von 37 % (2004) auf 70 % (2050) (ebenda). Das heißt, weniger Bürger müssen mehr versorgen. Dabei stehen sie mit ihren Wohlstandsquellen – Arbeitsplätze und Unternehmen – weiterhin im globalen Wettbewerb. Gerade auch für produzierende Unternehmen, als wichtigen Wohlstands faktor, besteht in der Bewältigung dieses demographischen Wandels eine der großen Herausforderungen zur Zukunftssicherung (ABELE & REINHART 2011).

Angesichts dieser Entwicklung ist es für die Wirtschaft und Gesellschaft der EU und Deutschlands von essentieller Bedeutung, die Arbeitskraft Älterer zu erhalten und zu stärken. Neben sozialen und politischen Anreizen sind innovative Produktionstechnologien erforderlich, die es Erwerbstätigen ermöglichen ihr Berufsleben zu verlängern und die gleichzeitig die Pro-Kopf-Produktivität erhöhen.

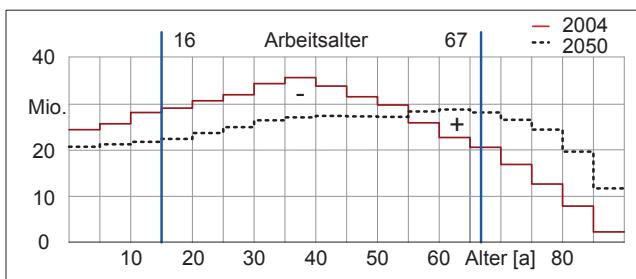


Abbildung 1: Alterskohorten der EU-25 nach EK RSDA (2007)

1.1.2 Alter, Gesundheit und Arbeitsfähigkeit

Alterung ist ein stark individueller und teilweise reversibler Prozess. Als genereller Trend nehmen Geschicklichkeit, Reaktionsvermögen, Wahrnehmung und Kraft ab den Mittzwanzigern ab, während Erfahrung und Kompetenz wachsen. Entwicklung und Abbau der Fähigkeiten unterliegen genetischen Voraussetzungen, Umwelteinflüssen, Gesundheit, Training und Nichtgebrauch. Vgl. (SCHLICK ET AL. 2010, S. 116-134). Alterungseffekte können im Arbeitsleben zum Teil durch z.B. Verhaltensänderung und Betriebserfahrung kompensiert werden, vgl. (BÖRSCH-SUPAN ET AL. 2007). Folglich kann nicht vom Alter des Einzelnen auf Einschränkungen der Arbeitsfähigkeit oder -leistung geschlossen werden. Allerdings nimmt mit zunehmendem Alter die Wahrscheinlichkeit des Auftretens solcher Einschränkungen bzw. Leistungswandlungen zu. Im Fallbeispiel einer Produktionsbelegschaft weisen 5 % der Mitarbeiter im Alter von 40 Jahren Einschränkungen auf, mit denen sie am angestammten Arbeitsplatz nicht mehr einsetzbar sind (DUBIAN 2009). In der Altersgruppe der 60-jährigen sind davon bereits 47 % betroffen. Auch der Anteil derer nimmt zu, die mangels adäquater Arbeitsplätze gar nicht mehr einsetzbar sind, siehe Abbildung 2.

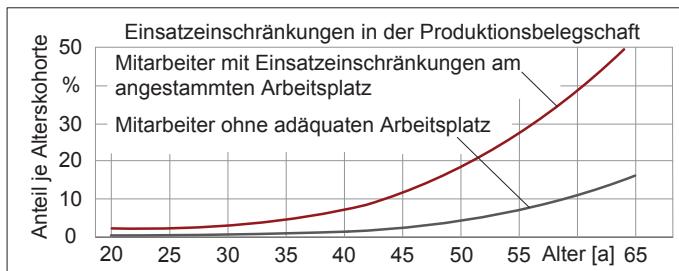


Abbildung 2: Altersverteilung durch Leistungswandlungen bedingte Einsatzeinschränkungen einer Produktionsbelegschaft, interpoliert nach DUBIAN (2009)

Ältere weisen mehr Fehltage auf; sie verunfallen und erkranken zwar seltener, aber schwerwiegender als Jüngere (SILVERSTEIN 2008; BADURA & ASTOR 2003). Gerade produzierende Unternehmen, mit ihrem hohen Anteil an manuellen Tätigkeiten, müssen mit einer Zunahme an Fehlzeiten rechnen, vgl. (LIEBERS ET AL. 2013). Das hohe gesetzliche Renteneintrittsalter in Deutschland wird von den Meisten nicht erreicht. Mehr als jeder Vierte geht aus gesundheitlichen Gründen vorzeitig in den Ruhestand, im Schnitt mit 55 Jahren (DESTATIS 2010).

Ohne weitere Maßnahmen werden Unternehmen erheblich an Arbeits- und Innovationskraft, Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit einbüßen.

Eine wesentliche Ursache der Einschränkungen, wie auch von Fehlzeiten und vorzeitigem Ruhestand sind Gesundheitsprobleme, (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK 2010; PARENT-THIRION ET AL. 2007). Der Produktionsbereich scheint davon besonders betroffen: Dort geben 40 % der Erwerbstätigen eine Beeinträchtigung der Gesundheit durch ihre Arbeit an – einen höheren Anteil zeigen nur die Sektoren Landwirtschaft und Bauarbeiten, (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK 2010).

Unter den arbeitsbezogenen Gesundheitsproblemen und Berufserkrankungen weisen Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) die größte Prävalenz auf, (ebenda). Als Hauptrisikofaktoren für (sowohl das Entstehen als auch das Auswirken von) MSE im Produktionsbereich gelten: Das Handhaben schwerer Lasten, monoton repetitive oder schnelle Arbeiten sowie ermüdende und schmerzhafte Körperhaltungen (ebenda).

Alle drei Risikofaktoren finden sich häufig in Handhabungsprozessen der Fertigung, Montage und Logistik wieder. Deswegen wird in dieser Arbeit der Handhabungsprozess als Schwerpunkt adressiert.

1.1.3 Roboterassistenz in der Produktion

Zur Erhaltung und Steigerung der Pro-Kopf-Produktivität im demographischen Wandel erscheint ein verstärkter Einsatz von Automation unumgänglich. Das wirtschaftliche Optimum liegt jedoch nicht in der Maximierung des Automatisierungsgrades, vgl. (LAY & SCHIRRMEISTER 2001). Die Ausgrenzung der Erfahrung und Flexibilität menschlicher Arbeitskräfte führt in volatilen Märkten zu hohen Flexibilisierungskosten. Vielmehr bedarf es einer geeigneten Mischung menschlicher und maschineller Arbeit, vgl. (BLEY ET AL. 2004).

Ein Schlüsselement der industriellen Automation stellen Industrieroboter dar. Durch technische Innovationen wachsen Leistungsfähigkeit, Fertigkeiten und Flexibilität der Roboter beständig, wodurch sie in einem zunehmend breiteren Einsatz- und Branchenfeld Anwendung finden, vgl. (INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS 2009). Ein spezieller Zweig der Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen zielt darauf ab, Robotern eine Zusammenarbeit mit Menschen und ein Arbeiten in unmittelbarer Nähe von Menschen zu ermöglichen, vgl. (KRÜGER ET AL. 2009). Der Vorteil einer solchen Mensch-Roboter-Kooperation wird darin gesehen, dass zum einen der Mensch seine

Erfahrung, Übersicht und Entscheidungskompetenz unmittelbar einbringen kann und damit den Robotereinsatz flexibilisiert. Zum anderen kann der Roboter den Menschen bei physisch anspruchsvollen, ermüdenden oder gefährlichen Arbeiten entlasten (ebenda).

Durch diese Eigenschaften hat die Mensch-Roboter-Kooperation das Potenzial, erstens die Pro-Kopf-Produktivität zu fördern, zweitens durch Verbesserung der Arbeitsbedingungen Arbeitskräfte gesund zu erhalten und drittens Leistungswandlungen durch Assistenz zu kompensieren. Die Weiterentwicklung dieser Technologie erscheint daher als Maßnahme geeignet, den Folgen des demographischen Wandels zu begegnen.

1.2 Allgemeine Zielsetzung

Der gezielte Einsatz der Mensch-Roboter-Kooperation in der Produktion ist in Hinblick auf die Berücksichtigung von Leistungswandlungen bisher nicht umfassend beleuchtet worden. Für einen solchen Einsatz sind einige Voraussetzungen zu schaffen: Erstens bedarf es im Zuge der Montagesystemplanung eines Vorgehens, welches eine zielgerichtete Gestaltung der Roboterassistenz auf Arbeitsplatzebene ermöglicht. Eine derartige Planung wird erleichtert, wenn eine größere Auswahl an Systemen oder Modulen für eine Roboterassistenz verfügbar ist und erfolgreiche Anwendungsbeispiele bekannt sind. Daher gilt es zweitens, neue Module und Systeme für die robotergestützte Assistenz zu entwickeln und zu erproben. Für Entwicklungen ist eine Fokussierung auf Technologien mit dem größten Potenzial sinnvoll. Daher ist drittens eine Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten der Roboterassistenz und eine Bewertung des jeweiligen Einsatzpotenzials vorzunehmen.

1.3 Vorgehen und Aufbau der Arbeit

In Kapitel 1 werden Motivation, Zielsetzung und Vorgehen dargelegt.

In Kapitel 2 werden bestehende betriebliche Maßnahmen zum Umgang mit Leistungsgewandelten analysiert und in einer neuen Übersicht zusammengefasst. Es werden zudem Grundlagen der Montagesystemplanung erläutert, der Begriff der Leistungswandlung definiert und eine Klassifikation von Leistungswandlungen eingeführt.

In Kapitel 3 wird der Stand der Technik der Mensch-Roboter-Kooperation allgemein sowie spezifisch für robotergestützte Assistenz bei Handhabungsprozessen dargelegt.

Kapitel 4 baut auf die Kapitel 2 und 3 auf. Für die zuvor beschriebenen betrieblichen Maßnahmen zur Berücksichtigung Leistungsgewandelter werden jeweils robotergestützte Assistenzmöglichkeiten entworfen und bewertet. Hierfür wird ein neues Bewertungsverfahren eingeführt. Auf Basis der Bewertung wird eine Übersicht der potenzialreichsten robotergestützten Maßnahmen zur Berücksichtigung Leistungsgewandelter erstellt. Weiterhin werden die Kooperationsmöglichkeiten von Mensch und Roboter im Bereich der Handhabung diskutiert und hinsichtlich des Assistenzpotenzials bezüglich unterschiedlicher Leistungswandlungen bewertet. Abschließend werden beispielhafte robotergestützte Assistenzmaßnahmen in Archetypen klassifiziert und beschrieben.

Kapitel 5 entwirft in Anlehnung an bestehende Methoden zur Montagesystemplanung ein angepasstes Vorgehen zur Planung von Roboterassistenz. Basis sind die vorangegangenen Kapitel 2 bis 4.

In Kapitel 6 wird das in Kapitel 5 entworfene Vorgehen an einem Anwendungsszenario illustriert. Dabei wird ein neu entworfenes Handhabungsassistenzsystem eingeplant.