

Jochen Werner

**Methode zur roboterbasierten
förderbandsynchronen Fließmontage
am Beispiel der Automobilindustrie**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 225

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2008

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 Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2009

ISBN 978-3-8316-0857-7

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

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Frank Schiller, dem Leiter des Fachgebiets Automatisierungstechnik des Lehrstuhl für Informationstechnik im Maschinenwesen (*itm*) der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates sehr herzlich bedanken.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben, recht herzlich.

Dr.-Ing. Friedrich Lange des Instituts für Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) möchte ich für die fachliche Unterstützung bei der vorliegenden Thematik und die gute Zusammenarbeit danken.

In besonderem Maße möchte ich mich selbstverständlich auch bei meiner Familie bedanken, die mich in meinem Handeln stets unterstützt und gefördert haben.

Augsburg, im Oktober 2008

Jochen Werner

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme.....	VII
Verzeichnis der Formelzeichen.....	IX
1 Einleitung.....	1
1.1 Flexible Automatisierung in der Montagetechnik.....	1
1.2 Motivation.....	3
1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	4
2 Stand der Technik.....	7
2.1 Allgemeines.....	7
2.2 Mechanische Synchronisation.....	7
2.2.1 Allgemeines.....	7
2.2.2 Formschlüssige Synchronisation.....	8
2.2.3 Kraftschlüssige Synchronisation.....	9
2.3 Gesteuerte Synchronisation.....	10
2.3.1 Allgemeines.....	10
2.3.2 Parallele Soll-Wertvorgabe.....	11
2.3.3 Soll-Wertvorgaben aus Ist-Werten.....	11
2.4 Geregelte Synchronisation.....	13
2.4.1 Allgemeines.....	13
2.4.2 Hydraulische Regelung.....	14

2.4.3	Elektronische Regelung.....	14
2.5	Zusammenfassung.....	17
3	Systemanalysen.....	19
3.1	Analyse der Synchronisationsprinzipien.....	19
3.2	Aufbau der untersuchten Fördertechnik.....	21
3.2.1	Allgemeines.....	21
3.2.2	Gliederbandförderer.....	23
3.2.3	Elektrohängebahn.....	24
3.3	Analyse des Laufverhaltens der Fördersysteme.....	25
3.3.1	Allgemeines.....	25
3.3.2	Auswahl des Messsystems.....	25
3.3.3	Laufverhalten des Plattenbandförderers.....	29
3.3.4	Laufverhalten der Elektrohängebahn.....	32
3.4	Analyse der eingesetzten Robotertechnik.....	35
3.4.1	Allgemeines.....	35
3.4.2	Kinematik.....	36
3.4.3	Robotersteuerung.....	37
3.4.4	Dynamik von Industrierobotern.....	38
3.5	Zusammenfassung und Präzisierung des Handlungsbedarfs.....	42
4	Anforderungen an die roboterbasierte förderbandsynchrone Montage.....	45
4.1	Technische Anforderungen.....	45
4.1.1	Allgemeines.....	45
4.1.2	Positioniergenauigkeit.....	46

4.1.3	Montageprozess	49
4.1.4	Sicherheit	49
4.2	Wirtschaftliche Anforderungen	51
4.2.1	Allgemeines	51
4.2.2	Ökonomische Effizienz.....	52
4.2.3	Technologie/Organisation.....	53
4.2.4	Flexibilität	53
5	Methode der roboterbasierten förderbandsynchronen Montage	55
5.1	Randbedingungen und Vorgehen	55
5.2	Entwicklung der Synchronisationsstrecke.....	55
5.2.1	Definition und Anforderungen.....	55
5.2.2	Möglichkeiten der Synchronisationsortes.....	57
5.2.3	Bewertung und Auswahl.....	59
5.3	Entwicklung der Integration von Nachgiebigkeit.....	60
5.3.1	Definition und Anforderungen.....	60
5.3.2	Möglichkeiten der Integration von Nachgiebigkeit	61
5.3.3	Bewertung und Auswahl.....	63
5.4	Konzeption des Synchronisationsprinzips.....	63
5.4.1	Allgemeines zum Synchronisationsprinzip	63
5.4.2	Funktionsweise des Synchronisationsprinzips.....	64
5.5	Entwicklung des Synchronisationslaufes	66
5.5.1	Allgemeiner Prozessablauf und Prozessphasen.....	66
5.5.2	Grobpositionierungsphase	67

5.5.3	Annäherungsphase.....	68
5.5.4	Kontaktphase	69
5.6	Anwendungsbereiche der Methode.....	70
5.7	Zusammenfassung.....	72
6	Entwicklung von Möglichkeiten der Prozessdatenerfassung	75
6.1	Allgemeines.....	75
6.2	Identifikation der Messaufgabe.....	76
6.3	Anforderungen an die Prozessdatenerfassung.....	77
6.4	Berührungslose Erfassung der Posedifferenzen.....	78
6.4.1	Allgemeines.....	78
6.4.2	Möglichkeiten der Datenerfassung.....	79
6.4.3	Einschränkung der Messprinzipien	80
6.4.4	Bewertung und Auswahl	81
6.5	Taktile Erfassung der Kräfte und Momente.....	82
6.5.1	Allgemeines.....	82
6.5.2	Möglichkeiten der Datenerfassung.....	83
6.5.3	Einschränkung der Messprinzipien	84
6.5.4	Bewertung und Auswahl	85
6.6	Zusammenfassung.....	86
7	Aufbau einer Pilotanlage	89
7.1	Allgemeines.....	89
7.2	Komponenten der Anlage.....	90
7.2.1	Allgemeines.....	90

7.2.2	Fördersystem mit Fahrzeug	91
7.2.3	Roboter mit Linearachse	91
7.2.4	Sonstige Einrichtungen	91
7.3	Entwicklung des Endeffektors.....	92
7.3.1	Anforderungen	92
7.3.2	Aufbau des Endeffektors.....	93
7.3.3	Integration des Bildverarbeitungssystems	95
7.3.4	Integration des Kraft-Momenten-Sensors.....	96
7.4	Adaption der Robotersteuerung.....	98
7.4.1	Anforderungen	98
7.4.2	Struktur der Robotersteuerung.....	99
7.4.3	Integration der Sensorik.....	101
7.5	Zusammenfassung	102
8	Betrieb der Pilotanlage.....	105
8.1	Allgemeines	105
8.2	Bestimmung der Soll-Bahn	105
8.2.1	Allgemeiner Ablauf	105
8.2.2	Programmierung der Referenztrajektorie	106
8.2.3	Korrektur der Soll-Position aufgrund von Sensorwerten	107
8.2.4	Bestimmung der Trajektorie der Endeffektorlage	108
8.3	Realisierung Montageprozess.....	109
8.3.1	Montageablauf	109
8.3.2	Grobpositionierungsphase	110

8.3.3	Annäherungsphase.....	111
8.3.4	Kontaktphase	112
8.4	Zusammenfassung.....	114
9	Bewertung des Systems	115
9.1	Allgemeines.....	115
9.2	Technische Bewertung	115
9.2.1	Aufbau des Messsystems.....	115
9.2.2	Verfolgegenauigkeit in der Grobpositionierungsphase	117
9.2.3	Verfolgegenauigkeit in der Annäherungsphase.....	120
9.2.4	Verfolgegenauigkeit in der Kontaktphase	124
9.2.5	Sicherheit.....	125
9.3	Wirtschaftliche Bewertung.....	126
9.3.1	Allgemeines	126
9.3.2	Realisierungsalternativen.....	128
9.3.3	Investitionsrechnung.....	130
9.3.4	Nutzwert	136
9.4	Zusammenfassung.....	138
10	Zusammenfassung und Ausblick	141
10.1	Zusammenfassung	141
10.2	Ausblick.....	143
11	Literaturverzeichnis	145
12	Anhang.....	163

1 Einleitung

1.1 Flexible Automatisierung in der Montagetechnik

Die Montage stellt in der Wertschöpfungskette das letzte Glied dar. Sie ist geprägt durch die Notwendigkeit der Realisierung einer hohen Variantenvielfalt bei gleich bleibend hoher Qualität (2000). Aus Sicht der Montagetechnik ist es in diesem Zusammenhang erforderlich, weiterhin in hohen Stückzahlen zu fertigen, um vor allem hinsichtlich der Kosten konkurrenzfähige Produkte am Markt zu platzieren (ZÄH et al. 2003). Dennoch treten in der Montage die größten Zeit- und Kostenpositionen des gesamten Wertschöpfungsprozesses auf. Dies resultiert daraus, dass in der Montage sämtliche zuvor gemachten Fehler mit hohem Aufwand ausgeglichen werden müssen (MILBERG 1987, REINHART et al. 1998). Der Zeitanteil der Montage an der gesamten Produktion liegt nach ANDREASEN & AHM (1988) bei 60%, der Kostenanteil bei 30%. PFEIFFER (1989) beziffert den Anteil der Montagekosten mit etwa 50%, GAIROLA (1985) sogar mit bis zu 70%. Diese hohen Zeit- und Kostenanteile in der Montage lassen auf ein erhebliches Rationalisierungspotential schließen.

Eine Antwort auf die genannten Anforderungen sind hochflexible Montagesysteme (FELDMANN & SLAMA 2001, REINHART & ZÄH 2006). Technische Ansätze liegen in der flexiblen oder gar wandlungsfähigen Gestaltung von Betriebsmitteln für Montagesysteme (DENKENA & DRABOW 2005, HILDEBRAND 2001, POUGET 2000, WESTKÄMPER 2001, ZÄH et al. 2006b).

Der Einsatz von Robotern als flexibles Handhabungs- und Montagewerkzeug ist dabei ein zentraler Stützpfiler. Die seit vielen Jahren ansteigenden Kosten für menschliche Arbeit und der hohe Druck, die Produktionskosten zu senken, führen dazu, dass der Automatisierungsgrad in vielen Bereichen des produzierenden Gewerbes steigt. Aber nicht nur die kostenintensive menschliche Arbeitskraft fördert den Einsatz von Robotern. Häufig arbeiten Roboter auch in für den Menschen gefährlichen Umgebungen oder führen körperlich anstrengende Arbeiten aus. Bei vielen industriellen Produktionsabläufen kommt es außerdem auf sehr hohe Präzision, Zuverlässigkeit und Kontinuität an, die oft nur der Roboter leisten kann.

Der Einsatz von Industrierobotern wird neben den schon beschriebenen Gründen auch von der Art des Montagesystems entscheidend beeinflusst. Aufgrund einer Vielzahl von Vorteilen, wie beispielsweise der geringen Werkerbindung, Minimierung der Durchlaufzeiten oder der Aufgabenteilung hat sich die Fließfertigung nach dem Erzeugnisprinzip in vielen Bereichen der Industrie durchgesetzt (LOTTER et al. 1998). Die Fließmontage ist daher die typische Organisationsform der automobilen Endmontage. Daraus resultiert jedoch ein hoher Anteil an manueller Arbeitsleistung. Dieser ist bedingt durch die kontinuierliche Bewegung, die das Fahrzeug ausführt. Eine Automatisierung und somit der Einsatz von Industrierobotern in der Fließmontage ist nur möglich, wenn das Handhabungssystem mit dem Produkt synchronisiert wird. Daraus ergeben sich zwei unterschiedliche Ansätze:

Bei der Teilautomatisierung werden Automatisierungskomponenten dazu eingesetzt, den Menschen bei bestimmten Bewegungen oder Abläufen zu unterstützen, wobei die Kontrolle und Steuerung beim Menschen bleibt. Beispiele für diese Art der Automatisierung sind der Einsatz von Balancern bei der Sitzmontage oder beim Radanbau. In Abhängigkeit des Montageprozesses werden die Handhabungssysteme direkt durch den Menschen geführt oder von diesem mechanisch mit dem Fahrzeug verbunden, so dass sie vom Fahrzeug mitgeschleppt werden.

Die Vollautomatisierung ist derzeit lediglich bei Stillstand des zu montierenden Produktes möglich. Diese Notwendigkeit ergibt sich aus der erforderlichen Synchronisation zwischen Produkt und Handhabungswerkzeug, die mit der erforderlichen Genauigkeit aktuell nur bei einem Stillstand zu erreichen ist. Dafür wird das Produkt mittels Spannsystemen fixiert, evt. vermessen und die entsprechenden Bauteile mit Hilfe von Industrierobotern montiert. Diese Art der Montage findet derzeit im Allgemeinen bei der Schiebedach-, Frontscheiben- und Cockpitmontage statt.

Die förderbandsynchrone Montage als Möglichkeit der Automatisierung in kontinuierlichen Fließmontagelinien ist durch eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber sowohl der getakteten Automatisierung als auch der manuellen Montage gekennzeichnet. In einer Studie der MAURER et al. (2005) wird die förderbandsynchrone Montage daher als eine der Schlüsseltechnologien für die Automatisierung in der Fließmontage bezeichnet.

1.2 Motivation

In manuellen Fließmontagelinien folgt der Werker der Karosserie, indem er entweder parallel läuft oder auf dem gleichen Förderband mitfährt. Diese Form der Montage bietet eine Reihe von Vorteilen, wie beispielsweise die Vermeidung von Taktzeitverlusten und damit die Reduktion von Durchlaufzeiten. Nachteile dieses Montagekonzeptes liegen in der geringen Ergonomie der Arbeitsplätze sobald große oder schwere Bauteile, wie Sitze und Räder, zu handhaben sind. Darüber hinaus kann eine gleich bleibend hohe Qualität nur bedingt sichergestellt werden.

Die automatisierte Montage in Fließmontagelinien wird durch die Notwendigkeit der Synchronisation von Handhabungsgerät und Produkt limitiert. Daher muss das Produkt aus der Fließlinie ausgeschleust und bis zum Stillstand abgebremst werden. Zusätzlich werden die Fahrzeuge aufgrund des starren Stationstaktes vor der eigentlichen Montagestation gepuffert. In dieser erfolgt im Anschluss die taktgebundene, automatisierte Montage. Sobald diese abgeschlossen ist, wird das Fahrzeug erneut beschleunigt und in die Fließlinie eingeschleust. Diese vor- und nachgelagerten Puffer- und Beschleunigungsbereiche, siehe Abbildung 1-1, verringern in Kombination mit der geringeren Flexibilität automatisierter Anlagen in Bezug auf Stückzahlschwankungen die Wirtschaftlichkeit vollautomatisierter Montagesysteme in Fließmontagelinien. Daher werden heutzutage automatisierte Stationen so weit wie möglich kombiniert und zentralisiert, um den Platzbedarf pro Station zu minimieren. Wenn dies nicht möglich ist, wird teilweise auf eine Automatisierung verzichtet, auch wenn diese für sich genommen effizient wäre.



Abbildung 1-1: Gestaltung von Fließmontagelinien in der Automobilindustrie aufgrund getakteter Automatisierungsanlagen

Die förderbandsynchrone Montage kombiniert die hohe und reproduzierbare Qualität der automatisierten Montage mit der Flexibilität der manuellen Fließmontage. Ein weiterer Vorteil der förderbandsynchronen Montage ist die Vermeidung der Puffer- und Beschleunigungsbereiche. Die Montagelinien schrumpfen in der Länge und es resultieren daraus weniger Beeinträchtigungen bei der Layoutgestaltung.

1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer Methode zur förderbandsynchronen Montage. Diese soll es ermöglichen, Montageprozesse, die derzeit entweder manuell im Fließbetrieb oder automatisiert getaktet durchgeführt werden, in die automatisierte Fließmontage zu übernehmen.

Zur Erreichung dieses Zieles ist es folglich notwendig, ausgehend vom Stand der Technik und den zu analysierenden Anforderungen an ein derartiges Robotersystem, eine Methode zur Synchronisation vom Roboter zum Montagehauptkörper zu erarbeiten. Die Validierung findet anhand einer zu realisierenden Pilotanlage statt. Der im Rahmen der vorliegenden Arbeit angestrebte Forschungsschwerpunkt liegt in der Ermöglichung eines Gleichlaufes zwischen dem Roboter und dem geförderten Bauteil. Dies soll insbesondere durch die Kombination geeigneter Handhabungs-, Regelungs- und Sensortechnik erreicht werden.

Um das beschriebene Ziel zu erreichen, wird in der Arbeit aufbauend auf standardisierten Vorgehensweisen für das wissenschaftliche Arbeiten nach MÜLLER (1990), POPPER (1976) und UHL (1999) folgendermaßen vorgegangen (vgl. Abbildung 1-2):

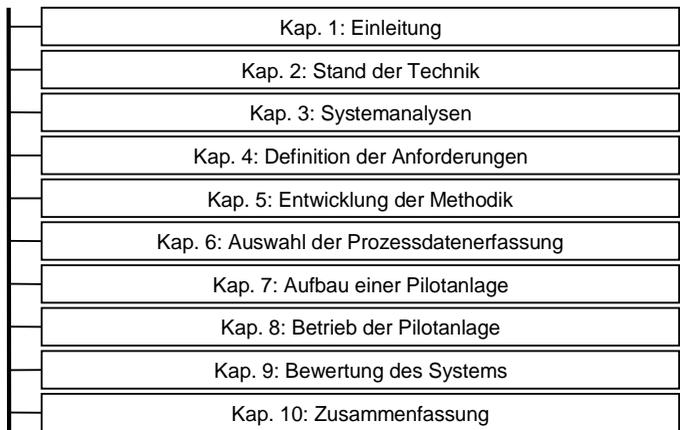


Abbildung 1-2: Vorgehensweise der Arbeit

Das *Kapitel 2* erläutert und zitiert detailliert die in der Literatur vorhandenen Ansätze zur Synchronisation von Handhabungssystemen und Förderbändern. Es

wird die chronologische Entwicklung aufgezeigt und anhand von Praxisbeispielen erläutert.

Schwerpunkt des *Kapitels 3* bildet die Analyse von für die Realisierung einer förderbandsynchronen Montage benötigten Systemen. Berücksichtigung finden in diesem Zusammenhang eigene Untersuchungen zur Lagegenauigkeit des Fördergutes auf bzw. in den Fördersystemen während des Förderns und zur Dynamik standardisierter Industrieroboter.

Die Anforderungen an eine förderbandsynchrone Montage und somit an die Synchronisation werden in *Kapitel 4* definiert. Diese beruhen auf den vorausgegangen Systemanalysen und allgemeinen Anforderungen an Montageprozesse. Zusätzlich werden die wirtschaftlichen Randbedingungen an ein zu entwerfendes automatisiertes Robotersystem konkretisiert.

Das *Kapitel 5* ist der Entwicklung einer allgemeingültigen Methode der förderbandsynchronen Montage gewidmet und ist somit der Kern der Arbeit. Dabei werden die für die Synchronisation zwischen dem Produkt, welches sich im Fördersystem befindet, und dem Handhabungsgerät notwendigen Prinzipien sowie geeignete Sensor- und Regelungssysteme beschrieben. Die erarbeiteten Einzelergebnisse werden dafür in eine allgemeingültige Methode überführt.

Für den Einsatz der Methode in einzelnen Applikationen ist es notwendig, die jeweils am Besten geeignete Prozessdatenerfassung auszuwählen. Daher werden in *Kapitel 6* die Möglichkeiten der Prozessdatenerfassung aufgezeigt und geeignete Systeme diskutiert.

Die Auswahl eines Anwendungsszenario und der Aufbau einer Pilotanlage ist Inhalt des *Kapitel 7*. Anhand eines industriellen Anwendungsbeispiels werden die Funktionsweise der entwickelten Prinzipien, Regelungsalgorithmen sowie die systemtechnische Umsetzung dargestellt.

Kapitel 8 beschreibt die Funktionsweise der realisierten Pilotanlage. Dabei werden insbesondere die Bestimmung der Roboterbahn und die Realisierung des konkreten Montageszenarios beleuchtet.

Die Bewertung des Systems in *Kapitel 9* erfolgt sowohl in Form einer Analyse der Genauigkeit während der Synchronisation als auch einer Analyse der Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage. Bei dieser Betrachtung wird die förderbandsynchrone Montage der manuellen Fließmontage und der automatisierten getakteten Montage gegenübergestellt.

Den Abschluss der vorliegenden Arbeit bilden in *Kapitel 10* die Zusammenfassung der erarbeiteten Ergebnisse und der Ausblick auf zukünftige Arbeiten zu diesem Thema.

2 Stand der Technik

2.1 Allgemeines

Für eine Bewegungssynchronisation zwischen Fördersystem bzw. Montagehauptkörper und der Handhabungseinrichtung bzw. dem Fügebauteil existiert bereits eine Vielzahl von Ansätzen. Die Synchronisationskonzepte zur förderbandsynchronen Montage vorzugsweise schwerer Lasten lassen sich aufgrund ihrer Koppelungsprinzipien zwischen Roboter und Fördersystem in mechanische, gesteuerte und geregelte Synchronisationen einteilen, siehe Abbildung 2-1. Unter einem Fördersystem soll dabei der Förderer mit dem zu fördernden Basisbauteilen verstanden werden. Die verschiedenen Konzepte werden nachfolgend näher erläutert.

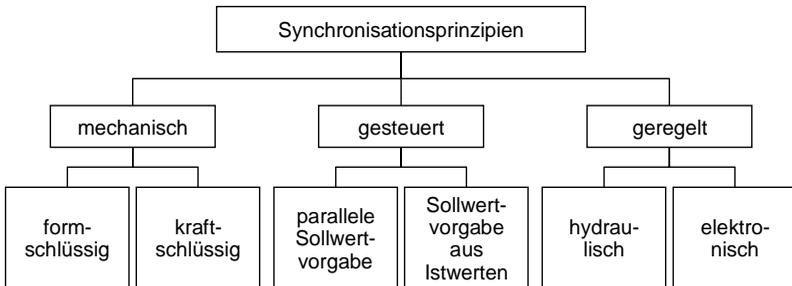


Abbildung 2-1: Synchronisationsprinzipien zwischen Handhabungssystem und Fördersystem bei der automatisierten förderbandsynchronen Montage nach DIRNDORFER (1993)

2.2 Mechanische Synchronisation

2.2.1 Allgemeines

Die mechanische Synchronisation ist die einfachste Art der Bewegungssynchronisation. Sie erfolgt über eine form- oder kraftschlüssige Verbindung des Fördersystems mit dem Handhabungssystem. Aufgrund der Verbindung wird das Pro-

dukt oder das Handhabungswerkzeug mitgeschleppt und somit eine quasistatische Montage ermöglicht.

2.2.2 Formschlüssige Synchronisation

Eine mögliche Art der formschlüssigen Synchronisation stellt ein Handhabungssystem mit abschaltbarem Antrieb dar, welches vom Fördersystem mitgeschleppt wird. Es bewegt sich auf einer Schiene parallel zum Fördersystem und verbindet sich mit diesem während des Montagevorganges formschlüssig. Durch das Abschalten des eigenen Antriebs ermöglicht es daraufhin einen Synchronlauf. Nach Beendigung des Montagevorganges koppelt die Vorrichtung aus und fährt selbständig in die Ausgangsstellung zurück. Ein Beispiel hierfür ist im Schutzrecht DE 32 49 454 C2 (1989) beschrieben und wurde zur Montage der Dachhimmel in der Fahrgastzelle umgesetzt, siehe Abbildung 2-2.

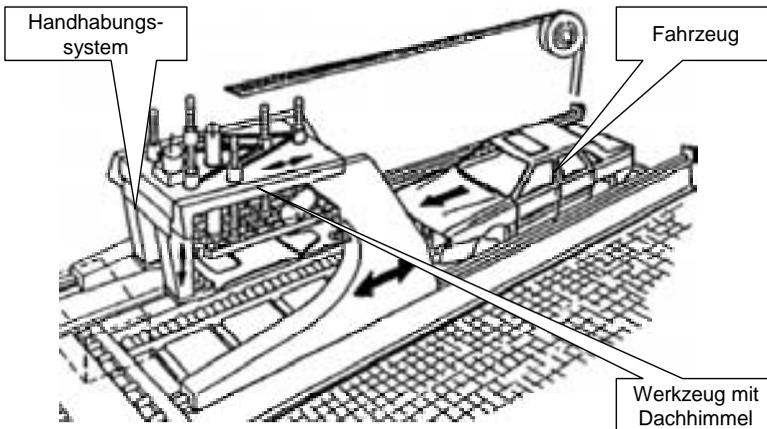


Abbildung 2-2: Vorrichtung zur Montage von Fertighimmeln nach
SCHUTZRECHT DE 32 49 454 C2 (1989)

Im SCHUTZRECHT DE 35 16 284 A1 (1986) ist eine Lösung erläutert, bei der auf beiden Seiten des Förderbandes verfahrbare Plattformen angebracht sind, siehe Abbildung 2-3. Auf diesen Plattformen befinden sich je ein Industrieroboter und eine Hubeinrichtung. Für die Dauer des Montageprozesses wird das Fahrzeug über die Hubeinrichtung vom Band abgehoben, auf den Plattformen zentriert und dort formschlüssig befestigt. Die Plattformen bewegen sich durch einen Vergleich der Absolutgeschwindigkeiten in etwa synchron zum Förderband, so dass

nach Beendigung des Montagevorganges das Fahrzeug wieder auf das Band aufgesetzt werden kann.

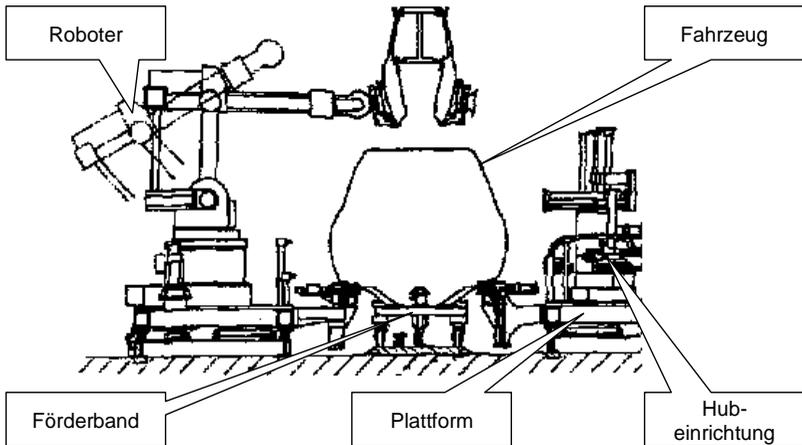


Abbildung 2-3: Montagevorrichtung für Fahrzeugkarosserieteile nach
SCHUTZRECHT DE 35 16 284 A1 (1986)

Eine weitere Möglichkeit ist ein Handhabungssystem mit eigenem Antrieb, welches für die Dauer des Montageprozesses das Basisbauteil vom Förderband abhebt, es zentriert und sich mit ihm formschlüssig verbindet. Die Handhabungseinrichtung bewegt sich durch einen Vergleich der Absolutgeschwindigkeiten in etwa synchron zum Förderband, so dass auch hier das Bauteil nach dem Montagevorgang wieder auf das Band aufgesetzt werden kann. Diese Variante wird im SCHUTZRECHT DE 35 26 284 C2 (1993) beschrieben.

2.2.3 Kraftschlüssige Synchronisation

Kraftschlüssige Synchronisationen beruhen darauf, dass die Handhabungseinrichtungen während der Synchronfahrt mit einer definierten Kraft gegen einen Anschlag am bewegten Förderband drücken. Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Förderband und Handhabungseinrichtung führen zu einer Änderung dieser Anpresskraft. Anhand des Unterschiedes zwischen Soll- und Ist-Wert der Kraft wird die Geschwindigkeit des Handhabungssystems entsprechend nachgeregelt. Durch die Regelung des Antriebs passt sich die Handhabungseinrichtung der Geschwindigkeit des Förderbandes an. Dies setzt ein Handhabungssystem voraus,

welches mit einem momentengeregelten oder –begrenzten Antrieb parallel zur Fördereinrichtung verfahren werden kann. Im SCHUTZRECHT EP 02 20 687 B1 (1990) ist dies beschrieben (Abbildung 2-4).

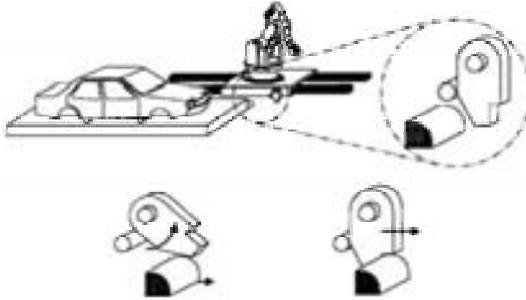


Abbildung 2-4: Kraftschlüssige Kopplung von Handhabungs- und Fördereinrichtung (SCHUTZRECHT EP 02 20 687 B1 1990)

Im SCHUTZRECHT DE 199 04 422 A 1 (1999) wird die mechanische Synchronisation durch Weichschalten einer oder mehrerer Achsen und eine Kraftregelung realisiert. Dabei wird der Roboter mittels einer aktivierbaren Kopplungseinheit von der Fördervorrichtung mit einer vorgebbaren Kraft mitgeschleppt, sobald das jeweilige Servosystem zur Durchführung der synchronen Bewegung des Roboters mit der Fördervorrichtung in einen nachgiebigen Zustand geschaltet wird. Die aktivierbare Kopplungseinheit zum Mitschleppen des Roboters mit der Fördervorrichtung kann sowohl mechanisch oder magnetisch insbesondere elektromagnetisch realisiert werden.

2.3 Gesteuerte Synchronisation

2.3.1 Allgemeines

Eine gesteuerte Synchronisation von Handhabungseinrichtung und Fördersystem erfolgt über die Vorgabe von Soll-Geschwindigkeitswerten an die Steuerungen. Dabei kommt es zu keiner Rückführung der aktuellen Ist-Werte. Die Vorgaben der Soll-Werte können dabei parallel an Fördersystem (hier Förderband) und Handhabungseinrichtung (hier Roboter) gegeben werden (Abbildung 2-5 links).

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, die Vorgaben der Soll-Werte für die Handhabungseinrichtung aus einer Messung der aktuellen Ist-Werte des Fördersystems zu bestimmen (Abbildung 2-5 rechts).

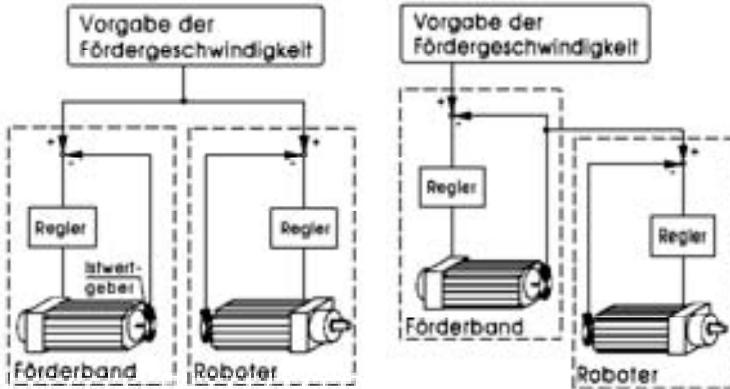


Abbildung 2-5: Parallele Soll-Wertvorgaben für Roboter und Förderband (links) und Ist-Werte des Förderbandes als Soll-Wertvorgabe für den Roboter (rechts) (DIRNDORFER 1993)

2.3.2 Parallele Soll-Wertvorgabe

Hier wird der Soll-Geschwindigkeitswert parallel sowohl an die Steuerung des Fördersystems als auch an die Steuerung der Handhabungseinrichtung weitergegeben. Durch die gleiche Soll-Wertvorgabe können die Einflüsse aus der Förderanlagendynamik nicht berücksichtigt werden. Mit dieser relativ einfach zu realisierenden Lösung sind daher nur geringe Positioniergenauigkeiten zu erzielen (DIRNDORFER 1993).

2.3.3 Soll-Wertvorgaben aus Ist-Werten

Bei diesem Ansatz wird die Soll-Wertvorgabe der Geschwindigkeit nur an das Fördersystem gegeben. Durch die zusätzliche Messung der aktuellen Fördersystemgeschwindigkeit wird nun der Soll-Wert für das Handhabungssystem generiert. Damit können die Geschwindigkeitsschwankungen aufgrund der Fördersystemdynamik teilweise kompensiert werden, jedoch erfordert dieses Prinzip einen höheren Aufwand.

3 Systemanalysen

3.1 Analyse der Synchronisationsprinzipien

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Synchronisationsprinzipien sind in der Literatur hinreichend diskutiert (DIRNDORFER 1993, ZÄH et al. 2006a). Die Ergebnisse der durchgeführten Analysen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Mechanische Systeme können aufgrund der notwendigen mechanischen Eigenschaften der Teilkomponenten wie Steifigkeit und Verschleißfestigkeit sowie den daraus resultierenden Massenträgheiten die geforderte Dynamik und Genauigkeit nicht erreichen. Formschlüssige Systeme stellen immer Sondermaschinen dar und werden sich auch in Zukunft nicht oder nur bedingt in manuelle Fließsysteme integrieren lassen. Die auf Kraftschluss basierenden Systeme erfordern eine Umrüstung der vorhandenen Fördersysteme, da diese weder über geeignete Anschläge noch über Führungen zum Ausgleich der zu erwartenden Momente verfügen. Diese notwendigen konstruktiven Adaptionen der eingesetzten Förder-technik verhindern einen wirtschaftlichen Einsatz derartiger Montageanlagen.

Die in Abschnitt 2.3 beschriebenen gesteuerten Systeme basieren auf der Synchronisation der Geschwindigkeiten von Förder- und Handhabungssystem. Eine Kopplung der Soll-Wertvorgaben scheidet aus den Betrachtungen aus, da die Fördersysteme zu nachgiebig und vom Antriebsverhalten zu träge sind, um eine präzise Umsetzung der gewünschten Soll-Lage zu gewährleisten. Die Soll-Wertvorgabe aus Ist-Werten kompensiert diesen Nachteil. Die Funktionsweise von gesteuerten Systemen mit Soll-Wertvorgabe aus Ist-Werten ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Die jeweilige Ist-Geschwindigkeit des Fördersystems wird mittels eines Geschwindigkeitssensors aufgenommen und mit der Soll-Geschwindigkeit verglichen. Die sich daraus ergebende Differenz wird als Eingangsgröße für die Regelung des Handhabungsgerätes verwendet. Aus diesem Konzept ergeben sich zwei grundlegende Nachteile. Erstens werden sämtliche Störungen, die direkt auf das Produkt einwirken, wie Prozesskräfte während der Montage, nicht berücksichtigt. Zweitens können einmal eingetretene Positionsabweichungen aufgrund nicht vorhandener Kompensationsstrategien nicht ausgeglichen werden und führen somit zu einer sich stetig verschlechternden Synchronisationsgüte. Aus den beschriebenen Nachteilen resultiert, dass es für gesteuerte Systeme nicht möglich

ist, die Differenzen von Soll- und Ist-Pose von Roboter und Montagehauptkörper auszugleichen.

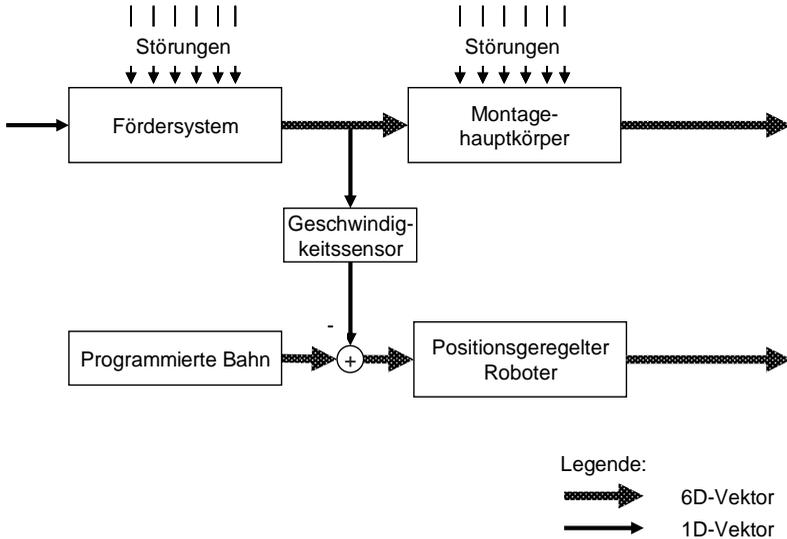


Abbildung 3-1: Prinzip der gesteuerten Synchronisation

Die Realisierung einer geregelten Synchronisation, wie sie in Abschnitt 2.4 vorgestellt wurden, ermöglicht den Ausgleich von Lageabweichungen in Förderrichtung zwischen Roboter und Montagehauptkörper. Erreicht wird dies, wie in Abbildung 3-2 dargestellt, durch die Messung der Ist-Position des Fördersystems mittels Lagesensoren und dem anschließenden Vergleich mit der Ist-Position des Roboters. Letztere wird nicht direkt gemessen, sondern von den gemessenen Achswerten der Robotergelenke errechnet. Die Differenz dieser Werte ist unter Berücksichtigung der Vorgabe von Offsets für die synchrone Bewegung die Eingangsgröße für die Regelung. Ein entscheidender Nachteil dieses Synchronisationsprinzips ist ebenfalls wie bei den gesteuerten Systemen die Nichtberücksichtigung der direkt am Produkt auftretenden Störgrößen.

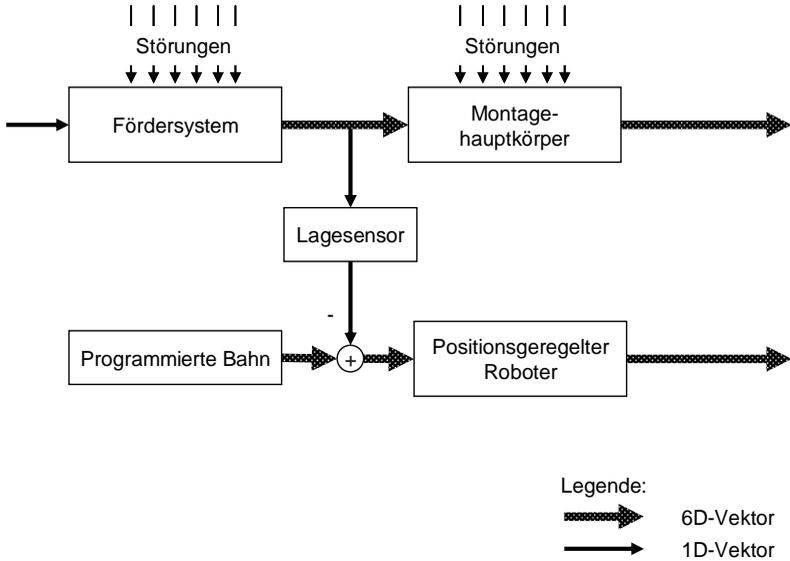


Abbildung 3-2: Prinzip der geregelten Synchronisation

Es kann daher festgehalten werden, dass die bisher verfolgten Synchronisationsansätze eine Rückführung der direkt am Montageobjekt auftretenden Positions- und Orientierungsabweichungen nicht berücksichtigen.

3.2 Aufbau der untersuchten Fördertechnik

3.2.1 Allgemeines

Die Fördermittel der technischen Logistik, welche in den Montagebereichen eines Unternehmens vorkommen, lassen sich in Anlehnung an die DIN 15201 TEIL 1 (1994) folgendermaßen klassifizieren:

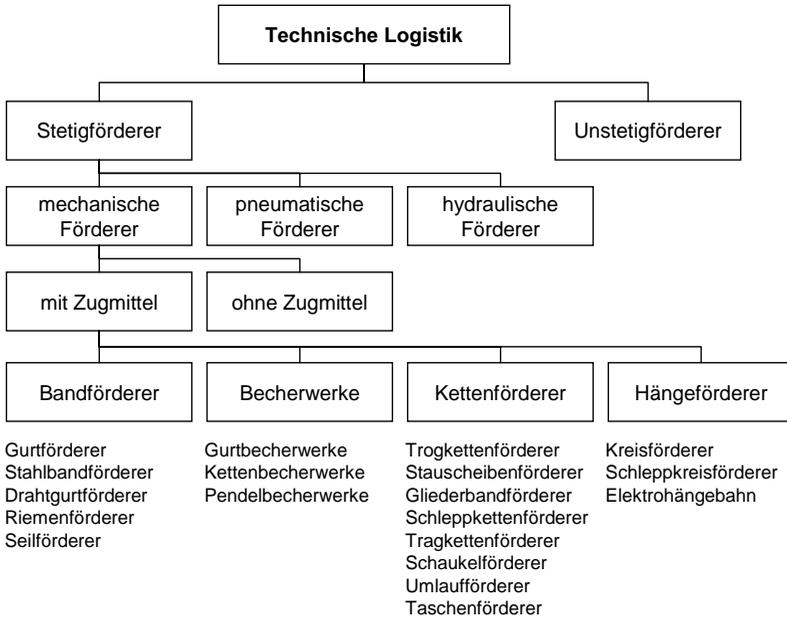


Abbildung 3-3: Klassifizierung der innerbetrieblichen Fördersysteme nach DIN 15201 TEIL 1 (1994)

Für den Einsatz in Fließmontagelinien sind aufgrund des gleichmäßigen, nicht unterbrochenen Transportes zumeist Stetigförderer im Einsatz. Stetigförderer sind mechanische, pneumatische oder auch hydraulische Fördereinrichtungen, bei denen das Fördergut auf festgelegtem Förderweg von der Aufgabe- zur Abgabestelle stetig, mit wechselnder Geschwindigkeit oder im Takt bewegt wird (DIN 15201 TEIL 1 1994). Diese Einteilung basiert lediglich auf dem Grundprinzip der Fördersystems, da nahezu sämtliche heutzutage eingesetzte Systeme einen mechatronischen Aufbau besitzen. In Fließlinien in der Montage werden zumeist mechanische Stetigförderer eingesetzt. Diese lassen sich wiederum in Stetigförderer mit Zugmittel oder ohne Zugmittel unterscheiden. Aufgrund der Art des Zugmittels wird darüber hinaus in folgende Systeme differenziert: (DIN 15201 TEIL 1 1994)

- Bandförderer sind Stetigförderer mit endlosem umlaufenden Band (z.B. Gut, Riemen, Seil) als Trag- und Zugorgan. Das Band wird von Tragrollen oder gleitend auf glatter Unterlage getragen.

- Becherwerke sind Stetigförderer mit Bechern als Tragorgane. Als Zugorgane dienen Ketten oder Gurte. Die Befüllung erfolgt durch Schöpfen oder Zuteilen, das Entleeren durch Abwurf oder Kippen der Becher.
- Kettenförderer sind Stetigförderer mit ein- oder mehrsträngiger, endloser, umlaufender Kette für waagerechtes, senkrechtes oder geneigtes Fördern oder für eine Kombination hiervon.
- Hängeförderer sind Stetigförderer, bei dem das Fördergut von Gehängen getragen wird, die von umlaufenden Zugkatzen gezogen oder durch Schwerkraft oder manuell bewegt werden. Die Fahrwerke der Gehänge laufen auf einem Schienenstrang.

In der automobilen Endmontage werden aufgrund der Art des Produktes und des Einsatzes als Verkettungselement einzelner Arbeitsstationen lediglich Ketten- und Hängeförderer eingesetzt. Wie in Abbildung 3-3 ersichtlich, lassen sich diese nach ihren weiteren Konstruktionsmerkmalen in eine Vielzahl von Varianten und Ausprägungen unterteilen. Wegen der Häufigkeit ihres Einsatzes in der automobilen Endmontage werden im Folgenden die Gliederbandförderer und EHB näher beleuchtet.

3.2.2 Gliederbandförderer

Gliederbandförderer sind eine Variante der Kettenförderer, welche aus sich überdeckenden, einzelnen oder gelenkig miteinander verbundenen Platten bestehen (DIN 15201 TEIL 1 1994). Sie werden durch endlose, zweisträngige Ketten angetrieben. Reiht man Platten als Aufbauten eines Gliederbandförderers endlos aneinander und verbindet sie mit einer zweisträngigen Kette, die als Zugmittel dient, bezeichnet man diese Systeme nach MARTIN (1978) als Plattenbandförderer. Angetrieben werden Plattenbandförderer durch Getriebemotoren über Kettenräder oder -sterne, wobei bei längeren Bändern auch mehrere Antriebe eingesetzt werden. Durch mittig angeordnete Ketten oder Verbindungsglieder der Platten lassen sich große Freiheitsgrade in der Linienführung erreichen und Förderstrecken mit nahezu beliebigen Raumkurven realisieren (JÜNEMANN & SCHMIDT 1999, KURTH 1983, SCHEFFLER 1973).

Beim Einsatz in der automobilen Endmontage stehen laut KOETHER (2001) die Fahrzeuge auf dem Plattenbandförderer zumeist auf den eigenen Rädern. Durch den Einsatz von Platten entsteht eine weitgehend geschlossene, gleichförmig be-

4 Anforderungen an die roboterbasierte förderband-synchrone Montage

4.1 Technische Anforderungen

4.1.1 Allgemeines

Die Hauptanforderung an eine roboterbasierte förderbandsynchrone Montageanlage ist die vollständige Synchronisation des Handhabungsgerätes mit dem Montagehauptkörper. Synchronisation bedeutet basierend auf den griechischen Wörtern *syn*, „zusammen“ und *chrónos*, „Zeit“ den „Gleichlauf zwischen Vorgängen, Maschinen oder Geräten herstellen“ [DUDEN 2001]. Als Herstellen von Gleichlauf zwischen den zu synchronisierenden Systemen wird im Rahmen dieser Arbeit die Minimierung der geometrischen Abweichung der zu betrachtenden Systeme zueinander innerhalb eines definierten Zeitraums und einer definierten Wegstrecke verstanden.

Als größte Herausforderung für die Synchronisation erweist sich das unvorhersehbare, aber nicht vernachlässigbare Schwingen des Montagehauptkörpers. Dies resultiert beispielsweise aus Geschwindigkeitsschwankungen des verwendeten Fördersystems oder es sind selbst- bzw. fremdangeregte Schwingungen. Dieses Schwingen bewirkt Abweichungen zwischen der aktuellen Ist- und der Soll-Position sowie Orientierung des Montagehauptkörpers.

Die grundlegenden technischen Anforderungen an eine Methode und ein System für die förderbandsynchrone Montage betreffen die Einzelpunkte:

- Positioniergenauigkeit
- Montageprozess
- Sicherheit

4.1.2 Positioniergenauigkeit

Bei der Bestimmung der Genauigkeit von Robotern wird zwischen den Pose- und Bahnkenngrößen unterschieden (DIN EN ISO 9283 1999). Die Begriffe Posewiederholgenauigkeit und Poseabsolutgenauigkeit werden üblicherweise für den anzufahrenden Endpunkt einer Bewegung verwendet (DIN 55350-11:2007-03, DIN EN ISO 9283, VDI-RICHTLINIE 2861 - BLATT 1). Sie bezeichnen die Fähigkeit eines Industrieroboters, einen gegebenen Raumpunkt innerhalb eines bestimmten Kugelradius zu positionieren. Die Genauigkeitsangaben beschreiben hierbei die mittlere Abweichung des TCP und seiner Orientierung in sechs Freiheitsgraden zu einem vorgegebenen Arbeitsraumpunkt und einer vorgegebenen Orientierung. Demgegenüber gibt die Bahnwiederholgenauigkeit an, wie exakt ein Roboter in der Lage ist, seinen TCP auf einer programmierten Bahn unabhängig von der Programmiermethode unter gleichen Bedingungen beliebig oft innerhalb eines bestimmten Radius um die gemittelte Bahn zu bewegen (DIN EN ISO 9283 1999).

DIRNDORFER (1993) stellt fest, dass keine dieser Größen die Ungenauigkeit spezifiziert, die aus dem Übergang von einer Taktstation zu einem förderbandsynchron arbeitenden Robotersystem resultiert. Die Genauigkeitskenngröße, welche die Lageabweichung zwischen einem bewegten Hauptkörper und dem dazu synchron bewegten Werkzeug in Förderrichtung darstellt, definiert er als Verfolgegenauigkeit. Diese bezeichnet die Lageabweichung zwischen Montagehauptkörper und Werkzeug in Förderrichtung unter variierenden Bewegungszuständen des Fördersystems.

Im Rahmen dieser Arbeit muss dieser Begriff jedoch weiter präzisiert werden, da in dieser Arbeit die Verfolgegenauigkeit in allen Raumrichtungen betrachtet wird. Daher wird diese in Anlehnung an die Bahnwiederholgenauigkeit wie folgt definiert:

Die Verfolgegenauigkeit ist die Posedifferenz zwischen einem zu definierendem Punkt am Montagehauptkörper und dem Roboter-TCP unter variierenden Bewegungszuständen des Fördersystems.

Die Verfolgegenauigkeit ist somit durch die größte Bahnabweichung in Position und Orientierung entlang des Synchronisationsweges gekennzeichnet. Die Betrachtung der Verfolgegenauigkeit erfolgt jeweils zu definierten Zeitpunkten. Sie wird durch zwei Faktoren bestimmt:

- die Differenz zwischen den Positionen der Ist-Bahn des zu verfolgenden Objektes und den Positionen der Ist-Bahn des Roboters zu gleichen Zeitpunkten (siehe Abbildung 4-1)
- die Differenz zwischen den Ist-Orientierungen des zu verfolgenden Objektes und den Ist-Orientierungen des Roboters zu gleichen Zeitpunkten

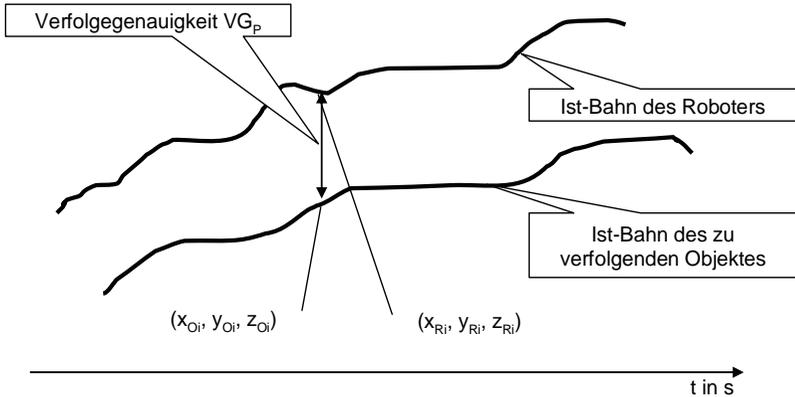


Abbildung 4-1: Parameter der Verfolgengenauigkeit VG_P

Die Positions-Verfolgengenauigkeit (VG_P) wird durch das Maximum der Abstände zwischen den jeweiligen Ist-Positionen des Roboters (x_{Ri} , y_{Ri} , z_{Ri}) und des zu verfolgenden Objektes (x_{Oi} , y_{Oi} , z_{Oi}) für eine Anzahl von zu berechnenden Zeitpunkten (t) bestimmt, siehe Gleichung (2).

$$VG_P = \max \sqrt{(x_{Ri} - x_{Oi})^2 + (y_{Ri} - y_{Oi})^2 + (z_{Ri} - z_{Oi})^2} \quad i = 1 \dots t \quad (2)$$

Die Orientierungs-Verfolgengenauigkeiten VG_a , VG_b , VG_c werden als maximale Abweichung von den Ist-Orientierungen des Roboters und des zu verfolgenden Objektes festgelegt. Die Bestimmung der Orientierungs-Verfolgengenauigkeiten ist in Gleichung (3) dargestellt, wobei c_{Ri} , b_{Ri} und a_{Ri} die Ist-Orientierungen des Roboters am Punkt (x_{Ri} , y_{Ri} , z_{Ri}) und c_{Oi} , b_{Oi} und a_{Oi} die Ist-Orientierungen des zu verfolgenden Objektes am Punkt (x_{Oi} , y_{Oi} , z_{Oi}) sind.

$$\begin{aligned} VG_a &= \max |a_{Ri} - a_{Oi}| & i &= 1 \dots t \\ VG_b &= \max |b_{Ri} - b_{Oi}| & i &= 1 \dots t \\ VG_c &= \max |c_{Ri} - c_{Oi}| & i &= 1 \dots t \end{aligned} \quad (3)$$

Die Messung dieser Größen erfolgt mittels geeigneter Messapparaturen zur 6D-Erfassung. Dafür wird unter Vorgabe eines definierten Soll-Abstandes und einer Soll-Orientierung zwischen dem Montagehauptkörper und dem Roboter-TCP die Differenz in der Ist-Pose während der synchronisierten Bewegung gemessen. Die zu fordernden, maximal zulässigen Posedifferenzen zwischen Roboter und Montagehauptkörper sind nur mit den zugehörigen Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufen der betreffenden Förderanlagen aussagekräftig.

Im förderbandsynchronen Betrieb soll die Verfolgegenauigkeit des Handhabungssystems zum Montagehauptkörper auch Montageoperationen mit hohen Genauigkeitsanforderungen ermöglichen. Daher ist eine Verfolgegenauigkeit von $VG_P=0,5\text{ mm}$ und $VG_a, VG_b, VG_c=1^\circ$ zu erreichen, was der Bahnwiederholgenauigkeit eines standardisierten stationären Roboters mit vergleichbarer Traglast entspricht, siehe Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1: Typische Genauigkeitskennwerte für Industrieroboter (BONGARDT 2004)

	Kleine Roboter Nutzlast <15 kg	Mittelgroße Roboter Nutzlast <60 kg	Große Roboter Nutzlast >60 kg
Positionswiederholgenauigkeit	0,02 bis 0,15 mm	0,04 bis 0,2 mm	0,1 bis 0,3 mm
Positionsgenauigkeit	0,3 bis 1 mm	0,4 bis 1,3 mm	0,5 bis 2 mm
Bahnwiederholgenauigkeit	0,1 bis 0,3 mm	0,2 bis 0,4 mm	0,3 bis 1 mm
Bahngenauigkeit	0,4 bis 1 mm	0,5 bis 1,5 mm	1 bis 2,2 mm

Die geforderte Verfolgegenauigkeit darf auch während Stopp-, Anfahr- und Schwingungsvorgängen der Förderanlagen nicht überschritten werden, andernfalls sind im Produktionsablauf Schäden und Störungen zu erwarten.

4.1.3 Montageprozess

Die Realisierung der förderbandsynchronen Montage erfordert eine ganzheitliche Betrachtung des Montageprozesses. Grundsätzlich lässt sich ein roboterbasierter Montageprozess in die folgenden Teilschritte untergliedern:

- Vorbereitende Tätigkeiten
- Positionierung / Orientierung
- Montageprozess

Vorbereitende Tätigkeiten sind beispielsweise die Aufnahme von Bauteilen und Montagehilfsmitteln durch den Roboter oder die Einfahrt des Montagehauptkörpers in den Arbeitsraum des Roboters. Daran schließt sich die Positionierung und Orientierung der Teilsysteme zueinander an. Den letzten Teilschritt stellt die eigentliche Montage des Bauteils an den Montagehauptkörper dar.

Bei der Entwicklung eines Systems für die förderbandsynchrone Montage gilt es, diesen Montageablauf zu berücksichtigen und die einzelnen Teilprozesse gegebenenfalls zu adaptieren oder zu erweitern. Darüber hinaus ist bei der Gestaltung des Systems darauf zu achten, dass die jeweils notwendige Prozesstechnik integriert werden kann und eine einfache Übernahme von stationär programmierten Montageabläufen möglich ist.

4.1.4 Sicherheit

Um die Sicherheitsbestimmungen von Maschinen und Anlagen zu gewährleisten, sind verschiedene Normen und Richtlinien zu erfüllen (DIN EN 60204-1 VDE 0113-1:2007-06, DIN EN ISO 12100-1, DIN EN ISO 12100-2, RICHTLINIE 2006/42/EG 2006). In der RICHTLINIE 2006/42/EG (2006) werden allgemeine Vorschriften und Anforderungen an Maschinen festgelegt. Im Bereich der Maschinensicherheit ist über diese eher allgemeinen Normen hinaus die DIN EN ISO 13849-1 (2007) und die DIN IEC 61508 (2006) für sicherheitsrelevante Steuerungen und die DIN EN ISO 13850 (2007) für die Gestaltung von Not-Aus-Einrichtungen zu nennen.

Neben der oben beschriebenen Sicherheit für Menschen ist bei der Entwicklung von Anlagentechnik darauf zu achten, dass bei einem Not-Stop auch bei der Anlagentechnik sowie dem Produkt Beschädigungen ausgeschlossen werden kön-

5 Methode der roboterbasierten förderbandsynchronen Montage

5.1 Randbedingungen und Vorgehen

Im Rahmen der Lösungssuche soll ein geeignetes Synchronisationsprinzip für die förderbandsynchrone Montage, welches den in Kapitel 4 definierten Anforderungen gerecht wird, entwickelt werden.

Aufgrund der von DIRNDORFER (1993) durchgeführten Analyse der möglichen Synchronisationsprinzipien und dem daraus folgenden Ausschluss der mechanischen Prinzipien wird auf eine weitere Betrachtung dieses Prinzips verzichtet. Die gesteuerten Synchronisationsprinzipien werden ebenfalls ausgeschlossen, da sich deren Grundkonzept nicht auf mehrere Freiheitsgrade übertragen lässt. Das hier zu entwickelnde Synchronisationsprinzip der förderbandsynchronen Montage basiert daher auf der geregelten Synchronisation. Diese wird im Rahmen der Arbeit auf die Synchronisation in sechs Freiheitsgraden erweitert und zu einem realisierbaren Konzept entwickelt.

Basierend auf dem ermittelten Handlungsbedarf und den definierten Anforderungen beinhaltet die Erarbeitung der Methode die folgenden Schwerpunkte:

- Entwicklung einer geeigneten Synchronisationstrecke,
- Entwicklung möglicher Integrationsformen einer Nachgiebigkeit,
- Konzeption des Synchronisationsprinzips und
- Entwicklung des Synchronisationslaufes.

5.2 Entwicklung der Synchronisationsstrecke

5.2.1 Definition und Anforderungen

Für den Aufbau einer geregelten Synchronisationslösung ist die kontinuierliche Messung der tatsächlichen Posedifferenz zwischen Roboter und Montagehaupt-

körper notwendig. Um dies realisieren zu können, ist die Wahl der Synchronisationsstrecke von besonderer Bedeutung. Als Synchronisationsstrecke wird die Verbindung zwischen den Synchronisationsorten am Roboter und Montagehauptkörper bzw. Fördersystem definiert. Als Synchronisationsort werden die jeweiligen Referenzen für die eingesetzten Sensorsysteme bezeichnet. Der Synchronisationsort am Roboter ist der jeweilige TCP. Anforderungen an den Synchronisationsort am Montageobjekt sind im Folgenden aufgelistet.

- *Prozessnähe*
Eine Minimierung des Abstandes zwischen dem Synchronisationsort und dem Montageort verringert den negativen Einfluss produktinhärenter Schwingungen auf die Verfolgegenauigkeit.
- *Stabiler Fixpunkt*
Der Synchronisationsort sollte möglichst ein Punkt am Montagehauptkörper sein, der eine stabile Referenz bildet.
- *Flexibilität*
Zur Realisierung eines möglichst vielseitig einsetzbaren Synchronisationsprinzips ist im Rahmen der Synchronisation auf varianten- oder prozessspezifische Umsetzungen oder Fixpunkte zu verzichten.
- *Vermeidung von Verdeckung*
Die Möglichkeit der Verdeckung der für die Synchronisation verwendeten Referenzpunkte sollte minimiert werden. Dies ist besonders relevant für die Anordnung der Sensorik zur messtechnischen Erfassung der Posedifferenzen.
- *Direkte Erfassung der Posedifferenzen*
Bei der Erfassung der Posedifferenzen können zwei Alternativen unterschieden werden, externe und interne Erfassung. Externe, also stationäre, Meßsysteme können verwendet werden, um die Absolutlage des Endeffektors und des Montagehauptkörpers zu detektieren. Die erfassten Daten müssen daraufhin transformiert werden, um die Differenz der Systeme zueinander bestimmen zu können. Bei internen Messsystemen ist dieses am Roboter selbst angebracht und erfasst die Posedifferenzen des Montagehauptkörpers zu seiner eigenen Pose. Daher kann auf eine Transformation der Daten verzichtet werden.

5.2.2 Möglichkeiten der Synchronisationsortes

Die Auswahl des am besten geeigneten Synchronisationsortes bestimmt maßgeblich die Genauigkeit des gesamten Synchronisationsprinzips. Aufgrund der Verwendung eines positionsgeregelten Roboters wird roboterseitig immer mit dem Roboter-TCP synchronisiert. Als mögliche Synchronisationspunkte seitens des Montagehauptkörpers können grundsätzlich drei Varianten unterschieden werden.

Synchronisation von Roboter-TCP zum Fördergrundsystem

Bei den meisten der im Stand der Technik vorgestellten Systeme kommt eine Synchronisation zum Fördergrundsystem zum Einsatz, siehe Abschnitt 3.1. Dabei wird direkt am Fördersystem ein Fixpunkt gewählt und dieser mittels geeigneter Sensortechnik verfolgt. Die notwendige Sensorik wird in diesem Prinzip extern, also nicht am Robotersystem, sondern beispielsweise als zusätzliche siebente Achse, wie bei einigen beschriebenen Systemen, konzipiert.

Vorteile dieser Art der Synchronisation sind die einfache Realisierung und die hohe Flexibilität in Bezug auf Montageprozesse. Zusätzlich ist die Wahl eines stabilen Fixpunktes sehr einfach. Nachteilig erweist sich jedoch die geringe erreichbare Genauigkeit, die größtenteils aus den lediglich in Förderrichtung erfassten Positions- bzw. Geschwindigkeitsdifferenzen resultiert. Darüber hinaus können Schwingungen und somit Positions-differenzen, die durch in den Montagehauptkörper induzierten Anregungen ausgelöst werden, aufgrund der großen Prozessentfernung, nicht berücksichtigt werden.

Synchronisation von Roboter-TCP zum Montagehauptkörper

Die Synchronisation zu Fixpunkten am Montagehauptkörper wird zumeist bei der automatisierten getakteten Montage verwendet. Nachdem der Montagehauptkörper gespannt ist, wird die aktuelle Lage an zuvor definierten Fixpunkten vermessen und in Relation dazu der Montageprozess durchgeführt. Bei der förderbandsynchronen Montage können die Fixpunkte am Montagehauptkörper mittels externer Sensorsysteme erfasst werden. Eine Realisierung mittels interner Sensorsysteme ist prinzipiell möglich, aufgrund zu erwartender Adaptionen seitens der Roboterhardware und Prozessgestaltung jedoch sehr aufwändig.

Vorteile sind die hohe Varianten- und Prozessunabhängigkeit sowie die Verwendung von stabilen Fixpunkten. Die Verdeckung der Fixpunkte am Montage-

hauptkörper kann durch eine geeignete Prozessgestaltung und gezielte Auswahl der Fixpunkte vermieden werden. Dies ist jedoch mit einem erhöhten Aufwand bei der Prozessgestaltung verbunden. Trotz der möglichen Erfassung der Pose des Montagehauptkörpers ist die zu erreichende Genauigkeit ungenügend. Dies resultiert aus den in Abschnitt 3.3 beschriebenen in den Montagehauptkörper induzierten Schwingungen. Aufgrund dieser Schwingungen können insbesondere bei größeren Entfernungen des Montageortes zum Fixpunkt nicht detektierbare Poseabweichungen auftreten. Beispiele dafür sind der Lenkwinkel oder der Sturz bei der Radmontage bzw. auch die Positionsdifferenzen an nicht fixierten Elementen, wie der Motorhaube oder Kofferraumklappe.

Synchronisation von Roboter-TCP zu Montageort am Montagehauptkörper

Die Synchronisation des Roboters mit dem Montageort am Montagehauptkörper stellt letztlich eine Sonderform der Synchronisation des Roboters zum Montagehauptkörper dar. Als Fixpunkt wird in diesem Fall der Ort gewählt, an welchem das Bauteil montiert werden soll. Ein weiterer Unterschied zur Synchronisation zum Montagehauptkörper ist die Art der Erfassung der Posedifferenzen. Bei der Synchronisation von Roboter zu Montageort muss eine interne Prozessdatenerfassung verwendet werden. Diese ist derart im Endeffektor zu integrieren, dass eine Verdeckung des Montageortes ausgeschlossen werden kann.

Vorteile dieses Prinzips sind die unmittelbare Prozessnähe und die daraus resultierende sehr hohe Verfolgegenauigkeit. In Abhängigkeit des Montageprozesses und somit der Geometrie des Montageortes kann dieser jedoch Probleme bei der sensorischen Erfassung ergeben. Die Flexibilität eines derartigen Systems ist daher auf jeweils einen spezifischen Montagevorgang eingeschränkt. Das bedeutet, dass der umgesetzte Montagevorgang an unterschiedlichen Produkten immer nur dann durchgeführt werden kann, sofern die Fixpunkte die gleichen Charakteristika für die messtechnische Erfassung aufweisen. Die Verwendung von internen Sensorsystemen ermöglicht einen Verzicht auf Sensordatentransformationen und verringert den Kalibrationsaufwand des Systems. Ein weiterer Vorteil dieses Prinzips ist, dass neben der Realisierung der Synchronisation ein derartiges Synchronisationsprinzip den eigentlichen Montagevorgang unterstützen und kontrollieren kann. Dies resultiert aus der in Abhängigkeit von der verwendeten Prozesssensorik vorhandenen Möglichkeit, bestimmte Prozessparameter und weitere qualitative Daten während des Montagevorganges zu erfassen.

5.2.3 Bewertung und Auswahl

Zur vergleichenden Bewertung der Möglichkeiten des Synchronisationsortes werden die im Unterabschnitt 5.2.1 definierten Anforderungen herangezogen (vgl. Tabelle 5-1). Daraus ergibt sich, dass die Synchronisation von Roboter zum Montageort das einzige Prinzip darstellt, das sämtliche Posedifferenzen berücksichtigt und somit eine ausreichend hohe Verfolgegenauigkeit gewährleistet. Die Nachteile bei der Wahl eines stabilen Fixpunktes, der Verdeckung und der Flexibilität sind prozessspezifisch und können durch eine geeignete Prozessgestaltung ausgeglichen werden. Die direkte Erfassung der Posedifferenzen ohne die Notwendigkeit von Koordinatentransformationen stellt einen weiteren Vorteil dieses Prinzips dar. Der Ansatz zur Synchronisation von Roboter-TCP zum Montageort am Montagehauptkörper wird daher im Folgenden angewendet, um eine förderbandsynchrone Montage zu realisieren.

Tabelle 5-1: Vergleichende Bewertung der Möglichkeiten des Synchronisationsortes

Anforderungen	Roboter zu Fördersystem	Roboter zu Montagehauptkörper	Roboter zu Montageort
Prozessnähe	○	◐	●
Stabiler Fixpunkt	●	●	◐
Flexibilität	●	◐	◐
Vermeidung von Verdeckung	●	◐	◐
Direkte Erfassung der Posedifferenzen	○	○	●
Legende	geringer Erfüllungsgrad bezüglich der Anforderung ○	mittlerer Erfüllungsgrad bezüglich der Anforderung ◐	hoher Erfüllungsgrad bezüglich der Anforderung ●

6 Entwicklung von Möglichkeiten der Prozessdatenerfassung

6.1 Allgemeines

Die Anwendung der entwickelten Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Montage erfordert eine messtechnische Erfassung des Montagehauptkörpers sowie des Montageortes am Montagehauptkörper während der einzelnen Phasen des Synchronisationslaufes. Für messtechnische Aufgaben steht generell ein breites Spektrum an unterschiedlichen Messprinzipien und Sensoren zur Verfügung. Um das am besten geeignete Sensorsystem für den jeweiligen Anwendungsfall zu identifizieren, ist eine methodische Herangehensweise, wie sie beispielsweise von ZELLER (1995) beschrieben und in Abbildung 6-1 dargestellt ist, zielführend.

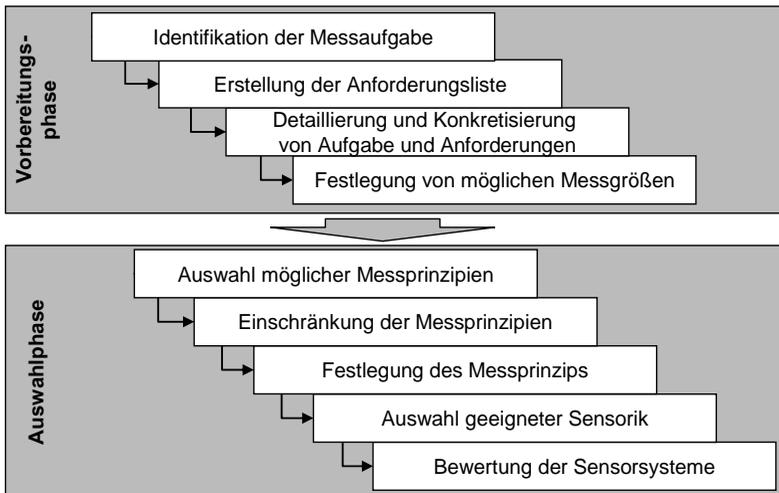


Abbildung 6-1: Methodische Vorgehensweise für die Auswahl von Sensorsystemen nach ZELLER (1995)

Danach wird der Auswahlprozess in eine Vorbereitungsphase und eine Auswahlphase untergliedert. In der Vorbereitungsphase ist die Detaillierung der Anforderungen an das Sensorsystem sowie die Definition der möglichen Messgrößen

Gegenstand der Arbeiten, während in der Auswahlphase die geeigneten Sensoren und das dazu gehörende Sensorsystem bestimmt werden.

Zur Identifikation der Messaufgabe als ersten Schritt der Vorbereitungsphase ist die Analyse der notwendigen Sensorfunktionen erforderlich. Diese werden in der Anforderungsliste gesammelt und aufbereitet, auf deren Basis dann die Aufgabenstellung konkretisiert wird. Ferner kann anhand der Anforderungsliste eine Auswahl geeigneter Messgrößen getroffen werden. Grundsätzlich muss in der Vorbereitungsphase darauf geachtet werden, dass durch die Definition der Messaufgabe keine Lösungswege vorgegeben werden.

Zur Erfassung einer Messgröße können unterschiedliche Messprinzipien angewendet werden. In der Auswahlphase wird daher schrittweise ein geeignetes Messprinzip festgelegt, anhand dessen die verfügbaren Sensoren und Sensorsysteme herstellernerneutral gesucht werden können. Diese müssen anhand der Anforderungsliste bewertet und als letzter Schritt, das am besten geeignete System ausgewählt werden.

6.2 Identifikation der Messaufgabe

Die zu erwartenden Messaufgaben lassen sich in anhand des in Kapitel 5 beschriebenen Synchronisationsprinzips und den daraus resultierenden Prozessphasen in drei voneinander zu differenzierende Aufgaben unterteilen:

Erfassung des Montagehauptkörpers im Fördersystem bei Eintritt in die Anlage und Grobverfolgung dessen Position

Während der Phase der Grobpositionierung ist es notwendig, die aktuelle Position des Montagehauptkörpers zu erfassen. Die Bestimmung der Position des Montagehauptkörpers ermöglicht einerseits die Auslösung des Montageprozesses und somit den Start der Synchronisation aufgrund einer Anwesenheitskontrolle und ist gleichzeitig die Grundlage für die weiteren Synchronisationsphasen. Da während der Grobpositionierung kein Kontakt zwischen Roboter und Montagehauptkörper zu erwarten ist, kann als Messgröße die Position in Förderrichtung gewählt werden.

Berührungslose Detektion der Posedifferenzen von Montagehauptkörper und Roboter während der Annäherungsphase

Die berührungslose Erfassung der Pose des Montageortes am Montagehauptkörper sollte, wie in Abschnitt 5.2 analysiert, mittels eines in den Endeffektor integrierten Sensorsystems erfolgen. Aufgabe dieses Systems ist die Messung der relativen Differenz des Montageortes zum Roboter-TCP in sowohl den translatorischen als auch rotatorischen Freiheitsgraden. Der Messbereich des Systems sollte den Bereich von der Grobposition bis zum mechanischen Kontakt zwischen Bauteil und Montagehauptkörper abdecken.

Messung von Kräften und Momenten während der Kontaktphase

Während des Montageprozesses ist es notwendig, einerseits die Posedifferenzen zwischen Bauteil und Montagehauptkörper auszugleichen und andererseits die Kontaktkräfte zu erfassen. Der Ausgleich der Posedifferenzen sollte dabei sowohl aktiv durch den Roboter auf Basis der Sensorik als auch passiv durch die in Abschnitt 5.3 beschriebene Nachgiebigkeit erreicht werden. Die Erfassung der Kontaktkräfte während des Montageprozesses ermöglicht neben dem Ausgleich der Posedifferenzen eine Regelung des Fügeprozesses, so dass auch komplexe Fügebewegungen ausgeführt werden können.

6.3 Anforderungen an die Prozessdatenerfassung

Die Anforderungen an die Prozessdatenerfassung lassen sich folgendermaßen definieren.

- *Qualität der Messdaten*
Die Sensorsysteme sollten einerseits eine hohe Qualität der Messdaten erreichen und diese über den jeweils notwendigen Arbeitsbereich erreichen.
- *Geringe Bauabmaße*
Die Sensorsysteme sollten prozessnah positioniert werden können, um eventuelle Nachteile durch Verdeckung oder Überlagerung durch Fremdeinflüsse minimieren zu können. Daher ist eine Integration im Endeffektor notwendig. Um die Dynamik des Systems nicht negativ zu beeinflussen, sind geringe Bauabmaße und Massen notwendig.

- *Robustes Messverfahren*
Das Messverfahren muss eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Umwelt- und Prozesseinflüssen aufweisen.
- *Verwendbarkeit der Messdaten*
Zur Minimierung von Fehlereinflüssen sollten die gemessenen Daten direkt in Steuerungs- und Regelkreisen verwendet werden können und nicht in zusätzlichen Konvertierungsschritten zur Berechnung der Stellgrößen aufbereitet werden müssen.
- *Unabhängigkeit des Messverfahrens*
Das Messverfahren kann für ein breites Spektrum an Prozessen und Materialien eingesetzt werden.
- *Technische Reife des Verfahrens*
Ausgereifte Verfahren werden bereits mit Erfolg in anderen Messaufgaben eingesetzt. Für eine schnelle Implementierung und die prozesssichere Bestimmung der gewünschten Daten ist dies eine wesentliche Eigenschaft.
- *Schnelle und einfache Kalibration des Sensorsystems*
Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl eines Sensorsystems ist die Möglichkeit, das System vor dem Hintergrund der geforderten Produkt- und Prozessflexibilität schnell auf Variationen im Prozess zu kalibrieren.
- *Hohe Dynamik*
Die Sensoren sollten schneller als der Roboter sein, mindestens jedoch in der Nähe des IPO-Taktes des Roboters. Das bedeutet derzeit eine Abtastgeschwindigkeit von min. 40 Hz.

6.4 Berührungslose Erfassung der Posedifferenzen

6.4.1 Allgemeines

Die berührungslose Erfassung der Posedifferenzen zwischen Roboter und Montageort am Montagehauptkörper ist während der Prozessphasen der Grobpositionierung und der Annäherung notwendig. Die Messaufgaben lassen sich bezüglich der zu erfassenden Messdaten und der zu verwendenden Sensorsysteme zusammenfassen. Dies ist zulässig, da in beiden Aufgaben die Pose des Mon-

tagehauptkörpers erfasst werden soll. Unterschiede bestehen lediglich darin, dass während der Grobpositionierung nur ein Freiheitsgrad und während der Feinpositionierung alle sechs Freiheitsgrade gemessen werden müssen.

Als Messgrößen sind die Positionsabweichung zwischen Bauteil und Montagehauptkörper als Weg und die Winkelabweichung zu detektieren. Beide Messwerte sind innerhalb eines kartesischen Koordinatensystems mit dem Roboter-TCP als Koordinatenursprung zu erfassen. Die Werte sollen als relative Differenzen an die Robotersteuerung weitergegeben werden. Der Arbeitsbereich der auszuwählenden Systeme muss anhand des zu automatisierenden Montageprozesses gewählt werden, jedoch sollten üblicherweise translatorische Differenzen von min. 0,1 mm und rotatorische von min. $0,5^\circ$ sicher detektiert werden, um die geforderte Verfolgengenauigkeit zu erreichen.

6.4.2 Möglichkeiten der Datenerfassung

Nach HECKEL (1995) und BALLANTYNE (1999) können Messsysteme zur Posebestimmung über eine Messung der Abstände oder Konturen in berührende und berührungslose Messsysteme unterschieden werden (vgl. Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Aufstellung von möglichen Messprinzipien zur Posebestimmung (erweitert nach HECKEL (1995))

Berührend	Mechanisch	Taster					
		Koordinatenmessgerät					
Berührungslos	Akustisch	Ultraschall					
	Elektrisch	Kapazitiv					
		Induktiv					
	Optisch	Inkohärentes Licht	Geo-metrische Verfahren	Triangulation	aktiv	Punkt	
						Linie	
			Laufzeitmessung	Fokus	Interferometrie	Codiert	
						Phasenmessung	Stereobild
		Kohärentes Licht	Interferometrische Verfahren	Fokussierverfahren		Zielmarken	
				Holografische Interferometrie			
				Speckle-Verfahren			

7 Aufbau einer Pilotanlage

7.1 Allgemeines

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode zur Synchronisation eines Handhabungsgerätes zu einem kontinuierlich bewegten Montageobjekt in sechs Freiheitsgraden wurde anhand eines prototypischen Versuchsaufbaus getestet. Aufgrund der wirtschaftlichen und technischen Anforderungen erfolgte der Aufbau der Pilotanlage weitgehend aus am Markt erhältlichen und bereits erprobten Standardkomponenten.

Als Handhabungsgerät wurde ein 6-Achsen-Knickarm-Roboter in Verbindung mit einer Linearachse verwendet. Dieser ermöglicht zum einen den Ausgleich sowohl von Positions- als auch von Orientierungsdifferenzen und stellt andererseits den derzeitigen Stand der Technik in der Automobilindustrie dar. Damit ist eine prinzipiell aufwandsarme Integration in vorhandene Anlagentechnik gewährleistet.

Als Montageprozess für die Validierung wurde der Prozess der Radmontage an eine Fahrzeugkarosserie gewählt. Die Montage eines Rades erfordert aufgrund der Passung E8-H7 eine maximale Fügetoleranz von 0,13 mm. Darüber hinaus sind die Räder durch eine hohe Zahl an Varianten bezüglich der Geometrie und der Optik gekennzeichnet. So ist es das Ziel, sowohl Aluminium- als auch Stahlfelgen in den Dimensionen von 6,5 J16 bis 8 J18, was einer Reifendimension von 195/55 R16 bis 225/40 R18 entspricht, zu montieren.

Neben diesen hohen Genauigkeitsanforderungen und der Variantenvielfalt der Bauteile ist die Radmontage durch weitere Besonderheiten gekennzeichnet. So muss während der Montage, bzw. der Synchronisation, die Geometrie des Fahrwerkes, also Dreh- und Lenkwinkel sowie Sturz detektiert werden. Bei diesen Kriterien kann es auch während der Montage des Rades durch einwirkende Kräfte zu Lageänderungen kommen, die kontinuierlich berücksichtigt werden müssen.

Beim Verschrauben des Rades ist zu beachten, dass ein vorgegebener Schraubzyklus mit den Teilzyklen Vorspannen, Lösen sowie drehwinkel- und drehmomentgesteuertem Endanziehen eingehalten werden muss. Die Gesamttaktzeit des

Systems darf ein Maximum von 1 Minute nicht überschreiten, da dies der benötigten Taktzeit der manuellen Montage entspricht.

7.2 Komponenten der Anlage

7.2.1 Allgemeines

Der prototypische Versuchsaufbau für die automatisierte förderbandsynchrone Montage besteht, wie in Abbildung 7-1 zu sehen, aus folgenden Komponenten:

- Fördersystem mit Portal und Laufkatze sowie dem Montagehauptkörper,
- Roboter mit Lineareinheit und Steuerung,
- Endeffektor,
- sonstige Einrichtungen, wie Rad- und Schraubenzuführung, Steuerungen.

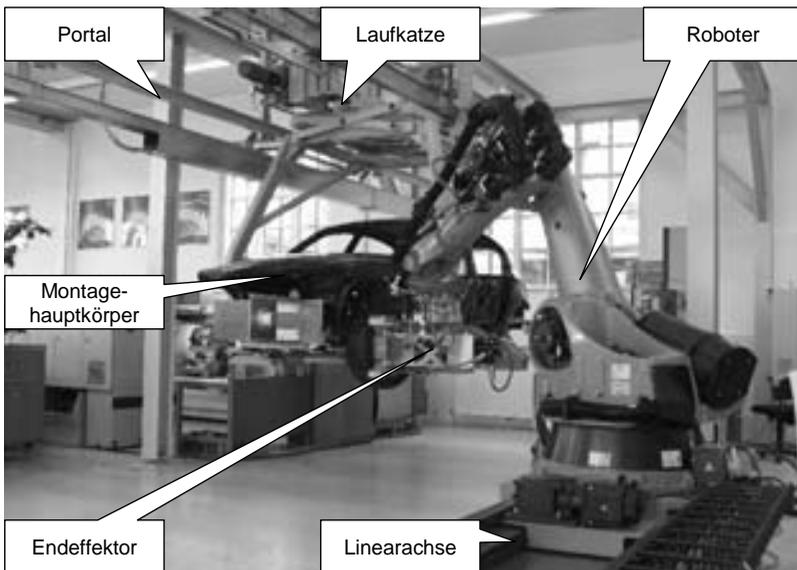


Abbildung 7-1: Aufbau der Pilotanlage

7.2.2 Fördersystem mit Fahrzeug

Das Fördersystem ist eine EHB, wie sie in Unterabschnitt 3.2.3 beschrieben wurde. Aufgrund zusätzlicher Adaptionen kann diese auch in der Höhe (z-Achse) variiert werden. Dieses verursacht eine erhöhte Schwingungsneigung durch den verlängerten Hebel um die Aufhängung der Laufkatze an der Schiene. Darüber hinaus wurden die Motoren (EURODRIVE 2004) mit Schrittgebern vom Typ SICK-AV1H (STEGMANN 2006) ausgestattet, um ein Conveyor-Tracking zu ermöglichen.

Die Verfahrensgeschwindigkeit des Fördersystems beträgt 6 m/min (0,1 m/s) und der Versuchsaufbau verfügt über eine Verfahrlänge von 9 m bei 0,5 m möglicher Höhendifferenz. Die Steuerung des Fördersystems wurde, abgesehen von der Einbindung in die Not-Aus-Regelkreise, nicht verändert. Der Montagehauptkörper ist ein Fahrzeug der Marke BMW, Modell E81.

7.2.3 Roboter mit Linearachse

Als Handhabungssystem wurde ein 6-Achsen-Knickarmroboter vom Typ KUKA KR180-2 Serie 2000 (KUKA ROBOTER 2004) ausgewählt. Zusätzlich wird eine 5000 mm lange Linearachse vom Typ KUKA KL1500/2 (KUKA ROBOTER 2005) und eine KR C2-Steuerung eingesetzt. Die Linearachse gewährleistet eine uneingeschränkte Bewegung des Roboters über den gesamten Montageablauf hinweg. Die Positionswiederholgenauigkeit des Roboters mit Linearachse wird vom Hersteller mit $\pm 0,2$ mm angegeben.

Die Steuerung des Industrieroboters ist PC-basiert, über die Programmiersprache KUKA Robot Language (KRL) frei programmierbar und für Hard- und Softwareerweiterungen prinzipiell offen. Über die roboterinternen Ein- und Ausgänge können externe Sensoren und Aktoren an die Robotersteuerung angeschlossen werden. Hierfür stehen die gängigen Bussysteme INTERBUS, PROFIBUS und DeviceNet zur Verfügung (KUKA ROBOTER 2006b). Die Bedienung und Programmierung des Roboters erfolgt über das KUKA Control Panel (KCP).

7.2.4 Sonstige Einrichtungen

Neben den beschriebenen Komponenten wurden für die Realisierung des Montageprozesses eine Rad- und eine Schraubenübergabestation aufgebaut. Diese er-

wiesen sich als notwendig, um eine für den automatisierten Prozess hinreichende Positionier- und Orientierungsgenauigkeit der zuzuführenden Bauteile zu gewährleisten.

7.3 Entwicklung des Endeffektors

7.3.1 Anforderungen

Der Endeffektor ist das eigentliche Werkzeug des Montagesystems. Daher ist dieser unter Berücksichtigung des jeweiligen Montageprozesses und der -produkte zu konstruieren. Die Anforderungen an den Endeffektor für die im Rahmen dieser Arbeit zu realisierende Radmontage sind:

- *Integration der notwendigen Sensorik*
Die Integration der Sensorik beinhaltet die Positionierung der für die Bildverarbeitung notwendigen Kamera und eines KMS, so dass hohe Messgenauigkeiten erreicht werden können.
- *Bildverarbeitung*
Das Bildverarbeitungssystem muss die Fahrzeugachse zuverlässig erkennen. Daher sollte sie in einem Abstandsbereich von 100 mm bis 500 mm mit einer Messgenauigkeit von ± 5 mm und $\pm 10^\circ$ im Fernbereich sowie $\pm 0,1$ mm und $\pm 0,5^\circ$ im Nahbereich arbeiten können.
- *Kraft-Momenten-Sensorik*
Die an den KMS gestellten Anforderungen sind die zuverlässige Messung von Kräften und Momenten während des Montagevorganges und der Ausgleich von nicht regelbaren, hochfrequenten Posedifferenzen. Die translatorische Nachgiebigkeit sollte im Bereich des Montagepunktes bei etwa ± 3 mm, die rotatorische bei $\pm 3^\circ$ liegen.
- *Geringe Masse*
Eine Minimierung der Masse des Endeffektors ist aufgrund der möglichst hohen Dynamik des Gesamtsystems anzustreben.
- *Hohe Steifigkeit*
Die Steifigkeit des Endeffektors sollte möglichst hoch sein, um negative

Beeinflussungen des Montageprozesses durch Eigenschwingungen zu minimieren.

- *Kompakter Aufbau*

Der kompakte Aufbau des Endeffektors ist aufgrund der daraus resultierenden verringerten Momente am Roboterflansch, der verringerten Massträgheit und der minimierten Kollisionsgefahr mit dem Montagehauptkörper notwendig.

- *Zentraler Schwerpunkt*

Ein zentraler Schwerpunkt des Endeffektors begünstigt die Genauigkeit des am Roboterflansch angeordneten KMS. Darüber hinaus ist bei einer zentralen Anordnung des Schwerpunktes die Auslenkung der nachgiebigen Elemente minimiert.

7.3.2 Aufbau des Endeffektors

Zur Realisierung des Montageprozesses unter Berücksichtigung der in Kapitel 5 beschriebenen Synchronisationsmethode und der in Kapitel 6 ausgewählten Prozesssensorik muss der Endeffektor folgende Komponenten beinhalten:

- Mehrspindelschrauber
- KMS mit Verstärkung
- Gehäuse
- Bildverarbeitungssystem
- Greifsystem

Der Mehrspindelschrauber besteht aus fünf Einbauschraubspindeln vom Typ EST-BG2. Die Schrauber verfügen über ein max. Drehmoment von 160 Nm und sind sowohl drehwinkel- als auch drehmomentgesteuert. Die Steuerung der Schraubensystems wird von einer *flexE05*-Schraubersteuerung (EST 2006) übernommen, welche über Profibus mit der Robotersteuerung verbunden ist.

Als KMS kommen zwei kompakte Systeme vom Typ Schunk FTC 50 (SCHUNK 2005a) zum Einsatz. Der Messbereich des Sensors beträgt ± 300 N und 7-15 Nm. Aufgrund der deutlichen höheren Kräfte und Momente wurde der Sensor extern

8 Betrieb der Pilotanlage

8.1 Allgemeines

In Kapitel 7 wurde beschrieben, aus welchen Komponenten die Pilotanlage für die förderbandsynchrone Montage realisiert wurde. Für die Umsetzung einer möglichst hohen Verfolgegenauigkeit zwischen Roboter und Montagehauptkörper sind jedoch neben den eingesetzten Komponenten die Berechnung der vom Roboter zu fahrenden Bahn und die Ausgestaltung des gesamten Montageablaufes notwendig.

Die Berechnung der Soll-Trajektorie erfolgt im Bahnplanungsmodul der in Abschnitt 7.4 beschriebenen Adaption der Robotersteuerung. Als Eingangsgrößen stehen die Sensordaten und der vorab programmierte Montageablauf zur Verfügung. Die jeweilige Soll-Trajektorie ergibt sich aus der Korrektur der programmierten Bahn aufgrund der Sensordaten. Um die beschriebenen Vorsteuerungen benutzen zu können, ist darüber hinaus eine Prädiktion der Bahn notwendig.

Der Montageablauf wurde in Abschnitt 5.5 als Synchronisationslauf hergeleitet. Um diesen anhand eines konkreten Anwendungsbeispiels umzusetzen, sind die jeweiligen Sensorsysteme für die Bahnplanung zu aktivieren und gegeneinander zu gewichten. Darüber hinaus sind während der einzelnen Prozessphasen unterschiedliche Sensorparameter notwendig.

8.2 Bestimmung der Soll-Bahn

8.2.1 Allgemeiner Ablauf

Aufbauend auf der in Abschnitt 7.4 beschriebenen Adaption der Robotersteuerung kann die Soll-Trajektorie des Roboters berechnet werden (LANGE et al. 2008a). Voraussetzung für die Berechnung ist das Vorhandensein einer programmierten Referenz, welche die zu korrigierende Soll-Bahn darstellt. Durch das somit gesicherte Vorliegen einer Folge von Soll-Positionen zu den einzelnen Abtastschritten ist das Geschwindigkeitsprofil gegeben.

Die Bestimmung der Soll-Bewegung des Roboters setzt sich in jedem Abtastschritt aus folgenden Teilschritten zusammen:

- Auslesen der programmierten Soll-Position aus der Referenztrajektorie
- Korrektur der Soll-Position durch Sensorwerte
- Bestimmung der Trajektorie der Endeffektorlage

Für die Bestimmung der Soll-Position wird weiterhin angenommen, dass die Sensor-Soll-Werte auf eine nominelle Objektbahn bezogen sind. Diese Vorgabe ermöglicht ein definiertes Annähern an das Objekt, indem eine anfänglich vorgegebene Posedifferenz im Laufe des Programms reduziert wird. Die Sensor-Soll-Werte werden implizit definiert als die Werte, die von der programmierten Referenzbahn aus gemessen werden, wenn das Zielobjekt in der nominellen Objektlage ist. Dabei sind sowohl die Soll-Bahn als auch die Objektbahn in jedem Abtastschritt durch alle sechs Freiheitsgrade vorgegeben.

8.2.2 Programmierung der Referenztrajektorie

Die Programmierung von Montageaufgaben für die förderbandsynchrone Montage, wie sie in LANGE et al. (2008c) beschrieben ist, kann grundsätzlich bei Stillstand des Fördersystems erfolgen. Die Förderbewegung wird dann nach dem Teach-In Prozess ergänzt.

Beim Teach-In eines Punktes der Roboterbahn ist es notwendig, zu diesem Punkt auch die aktuelle Auslenkung des Sensors sowie die Position der Fördereinrichtung festzuhalten. Erst dies erlaubt die spätere Berechnung eines Punktes der Referenztrajektorie.

Zusätzlich ist eine Ablaufsteuerung erforderlich, in der z. B. definiert ist, welcher Teil der Bahn förderbandsynchron ist und welcher die statische Aufnahme des Bauteils oder Montagehilfskörpers betrifft. Außerdem beschreibt die Ablaufsteuerung, welche Posekomponenten sensorgestützt korrigiert sowie welche Sensoren wann für die Sensorkorrektur genutzt werden sollen. In der Ablaufsteuerung erfolgt auch die Definition der Annäherungsbewegung durch die Vorgabe von zeitabhängigen Sensor-Soll-Werten für die Position und Orientierung.

Für die Definition der Annäherungsbewegung wird angenommen, dass die Annäherung des TCP an das Objekt in z-Richtung des TCP-Koordinatensystems

erfolgt, siehe Abbildung 8-1. Bei der Bestimmung des Kontaktpunktes ist zu berücksichtigen, dass aufgrund des nachgiebigen Endeffektors eine gewisse Sollauslenkung notwendig ist, um die jeweils notwendige Prozesskraft sicherstellen zu können. Implizit ergibt sich somit für jeden Zeitpunkt der Roboterbahn ein Sollabstand zum Montageobjekt, der die Sollbewegung des Roboters definiert.

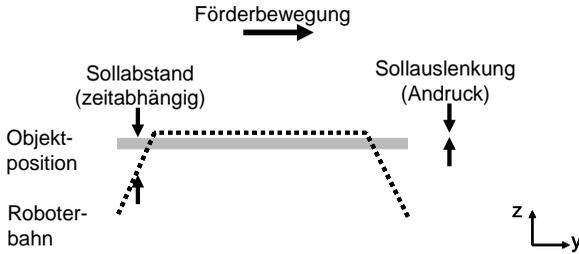


Abbildung 8-1: Modell zur Bestimmung der nominellen Objekttrajektorie (LANGE et al. 2008c)

Das endgültige Roboterprogramm enthält dann neben der Roboterbewegung und der Ablaufsteuerung auch die nominelle Objekttrajektorie. Die Definition des Objektes ist sensorunabhängig.

8.2.3 Korrektur der Soll-Position aufgrund von Sensorwerten

Die programmierte Referenzbahn wird während des Synchronlaufes mit Hilfe der erfassten Sensordaten korrigiert, siehe auch LANGE et al. (2008a). Dabei sind immer sämtliche vorhandenen Sensorsysteme aktiv. Die Berücksichtigung einzelner Sensorsysteme für die jeweilige Phase der Montageaufgabe ist im Anwenderprogramm definiert. Darüber hinaus werden spezifische und aktuelle Genauigkeiten der Sensorsysteme bei der Filterung berücksichtigt. Dadurch kann bei gleichzeitiger Aktivierung mehrerer Sensorsysteme trotz deren unterschiedlicher Genauigkeiten eine stabile Steuerung des Gesamtsystems realisiert werden. Die Berechnung der geschätzten Objektlagen und somit der Korrekturwerte verläuft je nach Art des Sensors.

Bei der Verwendung des Encoders steht der Sensorwert direkt für die geschätzte Objektposition. Der Wert ist jedoch aufgrund der Schwingungen oder durch einen Offset fehlerbehaftet. Daher wird, sofern weitere Sensordaten verfügbar sind, der jeweils aktuelle Fehler ermittelt und zukünftig addiert. Auf diese Art kann

der Encoder auch nach der Grobpositionierung noch verwendet werden, z. B. um während des Rückzugs des Roboters vom Band noch einen ggf. auftretenden Band-Stopp zu erkennen.

Das Bildverarbeitungssystem berechnet als Bildinformation die Objektlage bezüglich der Kameralage. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die jeweilige Kameralage die um die Auslenkung des Kraftsensors korrigierte und um die Rechenzeit der Bildverarbeitung verzögerte Ist-Position der Kamera ist. Da die Bildinformation nicht den aktuellen Zustand widerspiegelt, ist es erforderlich, den Korrekturwert zu präzisieren. Darüber hinaus steht die Sensorinformation aufgrund der Rechenzeit nicht in jedem Abtastschritt zur Verfügung.

Während des mechanischen Kontaktes kann die Lageabweichung ebenfalls durch Addition von Auslenkung und Ist-Position bei als starr angenommenem Endeffektor bestimmt werden. Daher wird in dieser Phase eine fiktive Lage des TCP als Ist-Lage angenommen. Diese ergibt sich aus der Messung der Auslenkung des KMS vor dem mechanischen Kontakt. Diese Auslenkung berücksichtigt Einflüsse wie beispielsweise das Gewicht des Endeffektors, Hysterese oder andere Störungen auf dem Sensor.

8.2.4 Bestimmung der Trajektorie der Endeffektorlage

Durch die Überlagerung der Referenztrajektorie mit Hilfe der Sensorkorrektur wurde die aktuelle Soll-Lage des Roboter-TCP bestimmt. Für das Verfahren müssen daher die zukünftigen Soll-Werte berechnet werden. Dies erfolgt durch eine Prädiktion der zukünftigen Sensorkorrektur (LANGE et al. 2008a).

Die Prädiktion ist im einfachsten Fall durch die Addition des Geschwindigkeitsfehlers der Fördereinrichtung möglich. Sie wird durch Differenzbildung aus den ermittelten Solllagen bestimmt, wobei bei Nutzung der Bildverarbeitung nur die Abtastschritte mit neuen Informationen betrachtet werden. Sofern bei der Sensorfusion ein Modell der Bewegung des Montagehauptkörpers existiert, kann dieses auch zur Prädiktion ausgenutzt werden. Alternativ kann eine Extrapolation nach LANGE & HIRZINGER (2005) erfolgen.

Die zu bestimmende Soll-Trajektorie muss darüber hinaus aufgrund der zu geringen Dynamik des Industrieroboters geglättet werden. Dies resultiert aus Rampen der Sensorkorrektur als auch schwankenden Sensorwerten, welche gegebenenfalls hohe Beschleunigungen der Soll-Trajektorie ergeben. Die dafür notwen-

9 Bewertung des Systems

9.1 Allgemeines

Bei der Bewertung des Pilotsystems zur förderbandsynchronen Montage sind sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen.

Im Rahmen der technischen Bewertung wird die Genauigkeit des realisierten Systems analysiert. Die Bestimmung erfolgt anhand der in Unterabschnitt 4.1.2 definierten Verfolgegenauigkeit. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Bestimmung innerhalb der jeweiligen Prozessphasen vorzunehmen ist. Daher wird bei der technischen Bewertung die Verfolgegenauigkeit während der Grobpositionierung, die Verfolgegenauigkeit bei der Annäherung und dem mechanischen Kontakt unterschieden. Die Verfolgegenauigkeit stellt die Relativpose von Roboter zu Montagehauptkörper dar, wohingegen die Montagegenauigkeit die zu fügende Passung angibt.

Die wirtschaftliche Bewertung analysiert die entwickelte Methode und das System mit Hilfe der Methoden der Investitionsrechnung, um im Vergleich mit den Realisierungsalternativen die wirtschaftlichste Variante zu wählen und die finanziellen Vorteile der förderbandsynchronen Montage zu bestimmen. Die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit erfolgt dabei sowohl monetär als auch nicht monetär.

9.2 Technische Bewertung

9.2.1 Aufbau des Messsystems

Die Ermittlung der Verfolgegenauigkeit erfolgt in sechs Freiheitsgraden unter Vorgabe einer definierten Soll-Positionierungsdifferenz und einer Soll-Orientierungsdifferenz zwischen dem Montagehauptkörper und dem Roboterwerkzeug während der synchronisierten Bewegung. Für die Messung dieser Kenngröße war daher ein geeignetes Messsystem zu entwickeln, das folgende Anforderungen erfüllt:

Erreichbare Messgenauigkeit

Die angestrebte Verfolgegenauigkeit des Montagesystems liegt bei 0,2 mm und 1°. Die geforderte Genauigkeit des Prüfstandes ergibt sich somit nach SCHÖNFELDER (1993) zu 0,05 mm und 0,25°.

- *Messbereich*
Der Bereich, in dem das Messsystem gültige Daten liefern soll, beträgt in Montagerichtung min. 80 mm, senkrecht dazu min. 20 mm. Des Weiteren ist der Messbereich so auszulegen, dass Winkelabweichungen von $\pm 5^\circ$ um jede Achse gültige Werte liefern.
- *Zeitliche Auflösung*
Die zeitliche Auflösung des Prüfstandes ist so zu wählen, dass innerhalb des Interpolationstakts des Robotersystems mindestens zwei Messwerte ermittelt werden. Daraus ergibt sich eine maximale Messdauer von 6 ms bzw. eine Abtastgeschwindigkeit von 167 Hz.
- *Keine Rückwirkung auf das Montagesystem*
Der Prüfstand darf keine Rückwirkung auf das Montagesystem haben. Vor allem die im Endeffektor des Montagesystems integrierten Sensoren dürfen durch das Messsystem nicht gestört werden. Diese Anforderung ergibt sich aus der Übertragbarkeit der Messdaten auf den tatsächlichen Montageprozess.

Die Erfassung der Posedaten erfolgt über drei Ebenen, welche senkrecht aufeinander stehen und eine dreiseitige Pyramide bilden. Das gesamte Messsystem besteht aus zwei Komponenten: Einer Messstation an der Fahrzeugkarosserie und der Referenzpyramide am Endeffektor. Auf der Messstation befinden sich die Sensoren und die Fahrzeugachse. Die Sensoren wurden so orientiert, dass ihre Messrichtung senkrecht zur Ausgangsposition der jeweiligen Messebene steht. Die Referenzpyramide enthält einen Felgeneinsatz, um einen vollständigen Montageprozess durchführen zu können. Für das Messsystem werden potentiometrische Weggeber der Firma Burster vom Typ 8712 (BURSTER PRÄZISIONSMESSTECHNIK 2008) mit einem Messweg von 100 mm verwendet. Die Messdaten werden mittels eines Analog/Digital-Wandlers vom Typ NI 2615 mit 8-kanaligem Eingang und einer Abtastfrequenz von 250 kHz bei einer Auflösung von 16 bit gewandelt.

Die Montage der Referenzpyramide erfolgt stirnseitig am Endeffektor des Roboters. Sie ersetzt für die Messläufe das Rad, da sie für die Sensorik des Endeffek-

tors die gleichen Eigenschaften aufweist. Die Messstation wird auf Höhe der Fahrzeugachse in der Verlängerung der Crashbox des Fahrzeuges an einer Hilfskonstruktion montiert. Abbildung 9-1 zeigt das Prüfsystem am Versuchsaufbau.



Abbildung 9-1: a) Messstation am Fahrzeug, b) Referenzpyramide am Endeffektor

Die Bestimmung der Messwerte für die Verfolgengenauigkeit erfolgt auf Basis der in Unterabschnitt 4.1.2 beschriebenen Vorgehensweise. Die Prüfläufe erstrecken sich über eine Messlänge von je 1 m. Zur Auswertung der Abweichungen vom Sollwert (0) wurde der Mittelwert des gesamten Wertebereiches gebildet. Die dargestellten Abweichungen repräsentieren somit die Abweichungen von diesem Mittelwert. Die Ergebnisse sind neben den abgebildeten Messschrieben (Abbildung 9-2 bis Abbildung 9-6) tabellarisch im Anhang gelistet. Für die Darstellung der Verfolgengenauigkeit wird in den folgenden Unterabschnitten das in Abbildung 3-11 definierte Koordinatensystem verwendet. Daraus resultiert, dass die Orientierungen dem Lenkwinkel (a), dem Drehwinkel (b) und dem Sturz (c) der Fahrzeugachse entsprechen.

9.2.2 Verfolgengenauigkeit in der Grobpositionierungsphase

Die Phase der Grobpositionierung wird, wie in Unterabschnitt 8.3.2 beschrieben, mit der Funktion Conveyor-Tracking der Robotersteuerung realisiert. Das Conveyor-Tracking ermöglicht eine Synchronisation in lediglich einem Freiheitsgrad. Die in Abbildung 9-2 dargestellten Orientierungsdifferenzen stellen daher keine Regelgrößen für das Robotersystem dar, da sie von der in dieser Phase verwendeten Sensorik nicht erfasst werden können. Die Differenzen betragen

unter 1° und können vernachlässigt werden. Eine Ungenauigkeit beim Programmieren der Bahn, welche eine konstante Abweichung darstellt, würde in der Grafik durch einen diagonalen Verlauf der Messwerte ersichtlich sein.

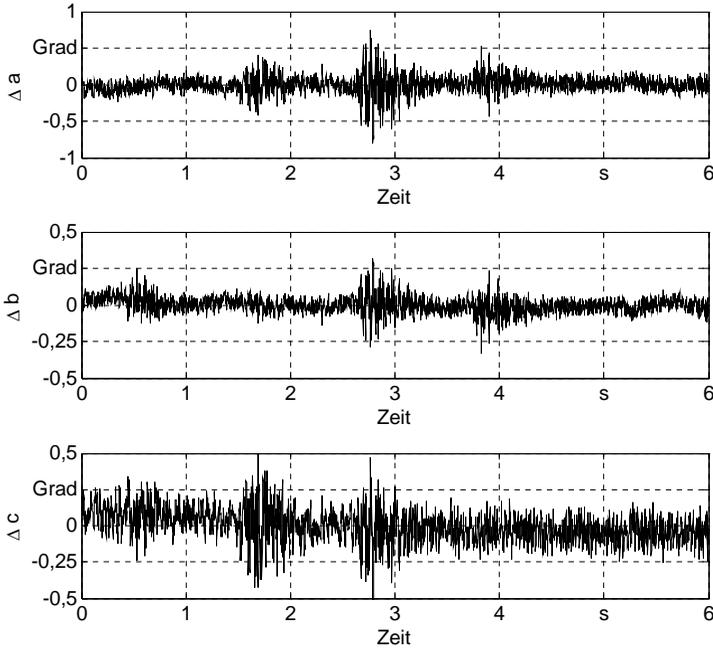


Abbildung 9-2: Messschrieb eines Prüflaufes mit den Orientierungsdifferenzen Δa , Δb , Δc während der Grobpositionierungsphase

Die Werte der Positioniergenauigkeit (Abbildung 9-3) zeigen in allen Achsen ein deutliches Driften über die Zeit. Das führt dazu, dass die Werte nicht um den Sollwert schwanken, sondern diagonal über den Messbereich verlaufen. Ein Nulldurchgang liegt nur vor, weil die Abweichungen zu dem Mittelwert über den Messlauf dargestellt sind. Eine Aussage über die durchschnittliche Abweichung kann mit Hilfe des verwendeten Messsystems und der Auswertung nicht gemacht werden. Gründe für das Driften können sein:

- ein Schleppfehler des Roboters in Förderrichtung (x),
- ein ungenaues Teachin der Bahn oder eine ungenaue Ausrichtung der Koordinatensysteme von Roboter und Fördersystem in Montagerichtung (y) oder

- ein ebenfalls ungenaues Teachen in der Höhe (z) sowie eine veränderliche Höhe der Laufschiene. Messungen über einen längeren Weg zeigen einen Wechsel vom konstant steigenden zum fallenden Verlauf für z , was die These der variierenden Höhe der Laufschiene stützt.

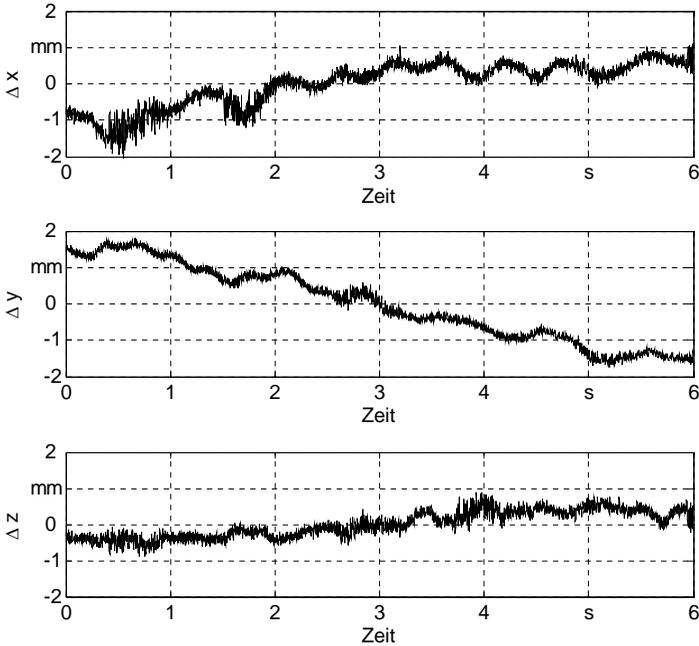


Abbildung 9-3: Messschrieb eines Prüflaufes zur Positioniergenauigkeit während der Grobpositionierungsphase

Die Positions-Verfolgegenauigkeit VG_P während der Grobpositionierungsphase ist in Abbildung 9-4 anhand eines Prüflaufes graphisch dargestellt. Die Messergebnisse sämtlicher Prüfläufe zeigen einen ähnlichen u-förmigen Verlauf. Gründe dafür sind die Drift der einzelnen Werte und deren Nulldurchgang aufgrund der Mittelwertbildung, die sich hier deutlich niederschlägt. Die Auswertung der durchgeführten Prüfläufe ergibt eine Positions-Verfolgegenauigkeit von bis zu $VG_P=3,96$ mm, siehe Anhang. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Positions-Verfolgegenauigkeit als die maximale Abweichung innerhalb eines Prüflaufes berechnet wird. Diese Genauigkeit entspricht dem derzeitigen Stand der Technik und ist für die Erfassung des Montageortes am Montagehauptkörper mittels des optischen Sensorsystems hinreichend genau.

10 Zusammenfassung und Ausblick

10.1 Zusammenfassung

Die Fließlinie ist eine der effizientesten Organisationsformen der Montage. Sie bietet eine Reihe von Vorteilen, wie beispielsweise die Vermeidung von Taktzeitverlusten und damit die Reduktion von Durchlaufzeiten. Die wirtschaftlichen Vorteile einer Automatisierung sind hingegen derzeit durch die Notwendigkeit der Synchronisation von Handhabungsgerät und Produkt limitiert. Die förderbandsynchrone Montage kombiniert jedoch die hohe und reproduzierbare Qualität der automatisierten Montage mit der Flexibilität der manuellen Fließmontage.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, einen Roboter mit dem im Fördersystem geförderten Bauteil derart zu synchronisieren, dass eine automatisierte Montage im Fließbetrieb durchgeführt werden kann.

Die Analyse der betrachteten Fördersysteme ergab, dass zusätzlich zu den bekannten Positionsdifferenzen in Förderrichtung weitere Abweichungen der Lage und Orientierung in den bisher nicht betrachteten Freiheitsgraden vorhanden sind. Da diese zu Posedifferenzen von mehreren Millimetern und Grad führen, ist eine Synchronisation in allen sechs Freiheitsgraden erforderlich. Darüber hinaus zeigte sich, dass die aktuelle Robotertechnik diese Schwingungen der Fördersysteme aufgrund zu geringer Regelgeschwindigkeiten nicht auszugleichen vermag.

Aufbauend auf diesen Analysen wurde eine Methode zur Synchronisation eines Roboters mit dem zu fördernden Bauteil entwickelt. Eckpunkte dieser Methode sind die Auswahl der Synchronisationsstrecke, die Trennung von regelbaren und nicht regelbaren Frequenzen und die Entwicklung eines Synchronisationslaufes für die Realisierung von Montageprozessen.

Die Synchronisationsstrecke ist die Verbindung der Synchronisationsorte am Roboter und Montageobjekt. Aus den Untersuchungen ergab sich, dass eine Synchronisation zwischen Roboter-TCP und Montageort am Montageobjekt am zielführendsten ist. Mithilfe dieser Synchronisationsstrecke können sämtliche Pose-differenzen berücksichtigt und somit eine ausreichend hohe Verfolgegenauigkeit gewährleistet werden.

11 Literaturverzeichnis

ABB FLEXIBLE AUTOMATION GMBH 1998

ABB Flexible Automation GmbH: Produktspezifikation Conveyor Tracking.
Västerås: 1998.

ADEPT 2006

Adept: AdeptSight™ 2.0. Livermore, CA: 2006.

ANDREASEN & AHM 1988

Andreasen, M. M.; Ahm, T.: Flexible Assembly Systems. Berlin: Springer 1988.

ANGELES 2003

Angeles, J.: Fundamentals of Robotic Mechanical Systems. 2. Aufl. Berlin, New York: Springer 2003.

ARAI et al. 2005

Arai, T.; Maeda, Y.; Kikuchi, H.; Sugi, M.: Automated Calibration of Robot Coordinates for Reconfigurable Assembly Systems. Annals of the CIRP 51 (2005) 1, S. 5-8.

ARAI et al. 2006

Arai, T.; Yamanobe, N.; Maeda, Y.; Fujii, H.; Kato, T.; Sato, T.: Increasing Efficiency of Force-Controlled Robotic Assembly. Annals of the CIRP 55 (2006) 1, S. 7-10.

ARNOLD 2004

Arnold, D.: Technische Logistiksysteme. In: Arnold, D. et al. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 2., aktualisierte und korrigierte Aufl. Berlin; Heidelberg; New York; Hongkong; London; Mailand; Paris; Tokio: Springer 2004.

ASTRÖM & WITTENMARK 1995

Aström, K. J.; Wittenmark, B.: Adaptive Control. 2. Aufl. Addison-Wesley 1995.

BALLANTYNE 1999

Ballantyne, W. J.: Distance. In: Webster, J. G. (Hrsg.): The measurement, instrumentation, and sensors handbook [electronic resource]. 1. Aufl. Boca Raton, Fla.: CRC Press published in cooperation with IEEE Press 1999.

ZÄH et al. 2005

Zäh, M. F.; Mueller, N.; Rimpau, C.: A Holistic Framework for Enhancing the Changeability of Production Systems. In: Zaeh, M. F. et al. (Hrsg.): 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005); München 22.-23. September 2005. München: Utz 2005, S. 77-84.

ZÄH et al. 2006a

Zäh, M. F.; Werner, J.; Lange, F.: System zur vollautomatisierten förderbandsynchronen Montage. wt Werkstattstechnik online 96 (2006a) 9, S. 592-596.

ZÄH et al. 2006b

Zäh, M. F.; Werner, J.; Prasch, M.: Changeable Means of Production. In: Westkämper, E. (Hrsg.): First CIRP Seminar International Seminar on Assembly Systems - ISAS; Stuttgart 15.-17. 11. 2006b, S. 33-38.

ZÄH et al. 2003

Zäh, M. F.; Ulrich, C.; Wagner, W.; Wilke, M.: Reaktionsszenario Minifabrik. wt werkstattstechnik online 93 (2003) 9, S. 646-650.

ZELLER 1995

Zeller, F.-J.: Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter. Diss. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (1995). München: Carl Hanser 1995. (Fertigungstechnik - Erlangen 51).

12 Anhang

Prüfbericht: Messungen Elektrohängebahn

Datum: 04.12.06

Ort: Versuchshalle *iwb* Anwenderzentrum Augsburg, Augsburg

Messung: Bahngenaugigkeiten Elektrohängebahn

Messgerät: statische Beschleunigungssensoren „ENDEVCO Microtron 7018-20“ (200mV/g), Digital-Speicheroszilloskop „ScopeCorder 7018-20“ Samplingrate: 20kS/s

Kommentar: Die aufgezeichneten Beschleunigungsverläufe wurden durch Bandpass (Eckfrequenzen 0,2Hz u. 30Hz) gefiltert. Kalkulation mit Matlab 2006b, Achsbezeichnung: x-Förderrichtung, y-seitlich, z-Höhe, Die Berechnung haben immer die aktuellen Soll-Werte zur Basis (Soll-Beschleunigung=0 mm/s² (Konstantfahrt), Soll-Geschwindigkeit in x=600 mm/s, Sollgeschwindigkeit in y, z=0 mm/s, Soll-Position=0 mm)

Prüfläufe: 10 Prüfläufe mit einer jeweiligen Messlänge von 3 m

Tabelle 12-1: Ergebnisse der Tests an der Elektrohängebahn

Prüf- lauf Nr.	a_{\max} (mm/s ²)			Δv_{\max} (mm/s)			Δs_{\max} (mm)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	+65,2	+79	+78,9	+5,6	+6,8	+4,8	+0,82	+2,3	1,02
	-67,2	-88,2	-87,8	-5,4	-8,0	-5,9	-1,03	-1,7	-0,69
2.	+59,8	+97,9	+88,4	+5,1	+6,2	+4,1	+1,24	+2,23	+0,93
	-70,8	-100	-93,5	-5,1	-8,6	-5,2	-1,67	-1,71	-0,88
3	+64,7	+95,1	+89,3	+6,1	+8,3	+3,9	+0,97	+1,7	+0,84
	-64,3	-96,2	-96,1	-4,7	-8,4	-5,7	-0,96	-1,75	-0,74
4	+61,8	+88,2	+83,6	+6,1	+6,9	+3,5	+0,97	+1,44	+0,65
	-65,5	-100	-93,2	-4,7	-7,8	-4,9	-0,95	-1,62	-0,62

Prüf- lauf Nr.	a_{\max} (mm/s ²)			Δv_{\max} (mm/s)			Δs_{\max} (mm)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
5	+60,7 -64,2	+94,3 -89,1	+86,7 -103	+4,8 -5,3	+6,5 -9,3	+3,9 -4,4	+0,92 -0,97	+2,27 -2,35	+0,28 -0,83
6	+73,3 -70,7	+91,9 -97,1	+104 -97,8	+6,36 -5,54	+5,58 -6,21	+4,07 -6,78	+0,79 -0,85	+1,61 -1,34	+0,85 -1,18
7	+92,8 -95,8	+78,1 -67,2	+86,5 -95,5	+8,64 -8,21	+7,08 -5,9	+4,32 -3,67	+1,2 -1,25	+1,64 -1,71	+1,05 -1,16
8	+90,9 -91,0	+74,4 -87,6	+81,9 -84,8	+7,75 -6,99	+6,88 -6,1	+5,01 -4,46	+1,03 -0,95	+1,56 -2,26	+1,48 -1,34
9	+93,0 -97,3	+66,5 -85,8	+83,9 -94,9	+8,55 -7,4	+6,22 -5,86	+4,1 -4,15	+0,89 -1,19	+1,15 -1,61	+1,08 -1,27
10	+108 -107	+80,8 -67,8	+97,9 -91,9	+8,57 -8,1	+6,06 -5,95	+5,14 -4,54	+1,15 -1,34	+1,15 -1,61	+1,26 -1,3

Prüfbericht: Messungen Plattenbandförderer

Datum: 29.08.07

Ort: BMW AG, Werk 1, München

Messung: Positionsabweichung Plattenband

Messgerät: statische Beschleunigungssensoren „ENDEVCO Microtron 7018-20“ (200mV/g), Digital-Speicheroszilloskop „ScopeCorder 7018-20“ Samplingrate: 20kS/s

Kommentar: Das Messgerät wurde für die Prüfläufe 1-3 an der Crashbox des Fahrzeuges befestigt, für Prüflauf 4 auf dem Plattenband. Die aufgezeichneten Beschleunigungsverläufe wurden durch Bandpass (Eckfrequenzen 0,2Hz u. 30Hz) gefiltert, um Offset und Rauschen zu unterdrücken. Kalkulation mit Matlab 2006b, Achsbezeichnung: x-Förderrichtung, y-seitlich, z-Höhe. Die Berechnung haben immer die aktuellen Soll-Werte zur Basis (Soll-Beschleunigung=0 mm/s² (Konstantfahrt), Soll-Geschwindigkeit in x=600mm/s, Sollgeschwindigkeit in y,z=0 mm/s, Soll-Position=0 mm)

- Prüfläufe: - 2 Prüfläufe mit je 3 m Messstrecke und Sensor an Crashbox während der Montage der Türscharniere
 - 2 Prüfläufe mit je 2 m Messstrecke und Sensor an Crashbox ohne stattfindende Montage
 - 3 Prüfläufe mit je 3 m Messstrecke und Sensor an Crashbox während der Montage der Rückbank
 - 3 Prüfläufe mit je 3 m Messlänge und Sensor auf Plattenband während Montage der Rückbank

Tabelle 12-2: Ergebnisse der Tests am Plattenband

Prüflauf Nr.	a_{\max} (mm/s ²)			Δv_{\max} (mm/s)			Δs_{\max} (mm)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1.	+129 -113	+321 -293	+366 -310	+4,2 -4,3	+5,3 -11,5	+8,0 -9,1	+ 1,22 -1,17	+1,27 -1,29	+0,79 -0,71
2	+124 -100	+339 -355	+443 -415	+4,4 -4,5	+10,8 -11,8	+13,4 -10,3	+1,08 -0,92	+1,57 -1,05	+1,54 -0,78
3	+119 -89	+324 -400	+546 -410	+4,2 -3,9	+8,8 -8,3	+8,2 -11,1	+0,86 -1,18	+1,70 -1,53	+1,00 -0,90
4	+121 -91	+195 -256	+220 -216	+5,1 -5,1	+7,5 -7,7	+5,7 6,0	+1,26 -0,93	+0,89 -0,82	+0,81 -0,47
5	+269 -401	+1297 -1220	+1008 -1179	+8,5 -7,3	+12,3 -17,3	+23,9 -19,9	+1,69 -1,56	+2,0 -1,69	+1,01 -1,07
6	+590 -811	+1285 -1071	+1604 -1799	+9,3 -12,1	+16,1 -10,9	+29,4 -31,4	+1,00 -1,27	+1,56 -1,77	+1,82 -1,22
7	+629 -654	+3162 -2931	+2506 -1797	+10,3 -11,9	+9,8 -21,6	-36,9 -35,3	+1,12 -1,60	+1,04 -1,34	+1,24 -1,30
8	+86 -86	+286 -384	+362 -470	+3,7 -4,2	+13,6 -8,5	+6,1 -8,9	+0,99 -1,50	+1,36 -0,69	+0,92 -1,06
9	+241 -244	+520 -449	+758 -991	+4,5 -4,1	+12,9 -11,7	+13,2 -20,6	+0,79 -0,57	+1,08 -0,68	+2,89 -2,25
10	+328 -231	+455 -343	+878 -1684	+3,8 -3,3	+10,7 -11,2	+23,1 -31,2	+0,88 -0,98	+0,85 -0,69	+7,35 -4,87

Prüfbericht: Messungen Roboterdynamik

- Datum: 20.03.08
- Ort: Versuchshalle *iwb* Anwenderzentrum Augsburg, Augsburg
- Messung: Leistungskenngrößen KUKA KR 180 Serie 2000
- Messgerät: statische Beschleunigungssensoren „ENDEVCO Microtron 7018-20“ (200mV/g), Digital-Speicheroszilloskop „ScopeCorder 7018-20“ Samplingrate: 20kS/s
- Kommentar: Messung in Anlehnung an DIN EN ISO 9283:1998
- Der Roboter wurde mit 180 kg Nennlast belastet.
- Das Messgerät wurde für die Prüfläufe am Endeffektor des Prüfgewichtes befestigt.
- Der virtuelle Sensor wurde über RSI eingebunden. Während des Abfahrens der geteachten Bahn wurden die Ist-Achswerte im IPO-Takt aufgezeichnet. Diese Werte wurden der Steuerung über den simulierten Sensor als Bahn übergeben.
- Kalkulation mit Matlab 2006b
- Prüfläufe: Prüfbahn nach DIN EN ISO 9283:1998 (200x200 mm), jeder Prüflauf beinhaltet das Abfahren der Prüfbahn in den Ebenen xy, yz und xz des Roboterweltkoordinatensystems.
- 10 Prüfläufe mit geteachter Bahn
 - 10 Prüfläufe mit sensorgesteuerter Bahn

Tabelle 12-3: Beschleunigungen bei geteachter Bahn

Prüflauf Nr.	a_{\max} (mm/s ²)			a_{\max} (mm/s) im Bereich P ₂₆ -P ₃₃		
	x	y	z	x	y	z
1	+5051	+4782	+3695	+465	+623	+521
	-5002	-5646	-2930	-519	-358	-508
2	+4986	+4755	+3650	+492	+620	+495
	-5005	-5740	-2988	-527	-343	-498

Prüf- lauf Nr.	a_{\max} (mm/s ²)			a_{\max} (mm/s) im Bereich P ₂₆ -P ₃₃		
	x	y	z	x	y	z
3	+4999 -5060	+4767 -5713	+3679 -2950	+473 -526	+612 -340	+500 -498
4	+5025 -5017	+4733 -5736	+3677 -2954	+455 -521	+610 -346	+500 -501
5	+4997 -5062	+4816 -5734	+3672 -2949	+479 -534	+610 -353	+490 -499
6	+5015 -5057	+4752 -5716	+3656 -2929	+478 -507	+593 -357	+484 -518
7	+5007 -5001	+4785- 5731	+3693 -2943	+482 -545	+618 -362	+519 -469
8	+4996 -5073	+4720 -5690	+3641 -2961	+446 -521	+608 -345	+487 -507
9	+5017 -5055	+4716 -5748	+3665 -2905	+435 -526	+612 -341	+513 -503
10	+4987 -5084	+4775 -5671	+3624 -2955	+450 -567	+620 -342	+486 -519

Tabelle 12-4: Beschleunigungen bei sensorgeführter Bahn

Prüflauf Nr.	a_{\max} (mm/s ²)			a_{\max} (mm/s) im Bereich P26-P33		
	x	y	z	x	y	z
1	+2889 -3225	+3711 -3191	+2226 -1518	+256 -295	+264 -195	+295 -400
2	+2925 -3235	+3799 -3173	+2235 -1520	+284 -312	+264 -203	+294 -394
3	+2914 -3199	+3723 -3204	+2248 -1517	+272 -283	+252 -201	+296 -390
4	+2874 -3264	+3712 -3209	+2194 -1546	+267 -333	+264 -187	+271 -427
5	+2864 -3218	+3736 -3173	+2202 -1539	+230 -324	+261 -197	+262 -406

iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*
Schneiderodierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozessgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Groha, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klippsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Saverer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozessmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Wrbn, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelshäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuzcek, H.*
Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54078-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung · ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabkastens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schröder, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helm, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bamm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeinrichtungen
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56689-5
- 62 *Stetter, R.*
Rechnergestützte Simulationwerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
Simulation des Schwingungsverhaltens spanender Werkzeugmaschinen
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layoutoptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummelsteiner, G.*
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
Rechnergestütztes Projektinformations- und Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinserienproduktion
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer flexiblen Fertigung
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*
Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in der Arbeitsvorbereitung
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
Strömungstechnische Optimierung von Produktionssystemen durch Simulation
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzner, N.*
Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifbearbeitung
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanow, P.*
Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungszellen
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der Hartbearbeitung
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in flexiblen Produktionssystemen
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*
Systematische Planung anwendungsspezifischer Materialflußsteuerungen
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rackland, M.*
Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in Montageanlagen
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Linner, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
Integrierte Planung von Informationssystemen für rechnergestützte Produktionssysteme
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*
Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in mittelständischen Unternehmen
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen · Gestellstrukturen
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen · Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Kähler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krönert, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozess mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung · ein modularer, modellbasierter Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindnermaier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*
Präzisionsorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfäden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgleitetete Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ins Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Lasert in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

- 47 **Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation**
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien**
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen**
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen**
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 **Fabrikplanung 2004 Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen**
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen**
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapselfür aseptischen Ampulle**
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 **ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen**
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 **Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 **Produktionsmanagement**
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 **Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche**
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
- 81 **Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder**
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
- 82 **Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement**
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
- 83 **Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen**
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6
- 84 **Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?**
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 **3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau**
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 **Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung**
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 **Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand**
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 **Mechatronik · Vorsprung durch Simulation**
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 **RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten**
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1

Forschungsberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößmer, Helmut E.
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian
Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian
Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich
Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof
Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank
Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael
Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn
Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert
Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt
Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich
Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer
Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier
Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak
Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner
Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz
Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald
Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner
Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller
Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer
Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fahrer
Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner
Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte
Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger
Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob
Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer
System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel
Anziehverfahren für hochfeste Schraubverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross
Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun
Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen
Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer
Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen
Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton
Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenster Montagesysteme
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser
Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitingner
Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling
Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch
Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein
Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak
Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr
Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber
Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt
Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer
Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger
Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried
Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner
Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich
Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl
Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann
Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp
Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz
Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner
Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein
Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren
Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Gribsch
Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer
Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack
Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
 2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff
Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
 2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
 2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 Klaus Schlickerrieder
Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
 2008 · 204 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 Niklas Möller
Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 Daniel Siedl
Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrbewegungen
 2008 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 Dirk Ansorge
Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
 2008 · 146 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 Georg Wünsch
Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
 2008 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 Thomas Oertli
Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
 2008 · 194 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 Bernd Petzold
Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsenste Mikromontage
 2008 · 234 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 Loucas Papadakis
Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 Mathias Mörtl
Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 Sebastian Weig
Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 Tobias Hornfeck
Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
 2008 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 Hans Egermeier
Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 Matthäus Sigl
Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns
 2008 · 185 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0841-6

- 224 Mark Harfensteller
Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
2009 · 196 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0849-8
- 225 Jochen Werner
Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
2009 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 Florian Hagemann
Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
2009 · 226 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 Haitham Rashidy
Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
2009 · 212 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0862-1