

Forschungsberichte

iwb

Band 170

Paul Ross

***Bestimmung des wirtschaftlichen
Automatisierungsgrades von
Montageprozessen in der frühen
Phase der Montageplanung***

herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart

Prof. Dr.-Ing. M.F. Zäh

Herbert Utz Verlag

UTZ

Forschungsberichte iwb

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte
bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2002

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2002

ISBN 3-8316-0191-7

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozeß spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb*-Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

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. Klaus Feldmann, dem Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates, die aufmerksame Durchsicht der Arbeit und die wertvollen Anregungen sehr herzlich bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann, dem Leiter des Lehrstuhles für Produktentwicklung der Technischen Universität München, danke ich sehr herzlich für die Übernahme des Vorsitzes.

Weiterhin möchte ich mich bei meiner Frau Annette und meinen Kindern Lena und Lukas dafür bedanken, dass Sie an unzähligen Wochenenden und Abenden auf mich verzichtet haben. Durch ihre Geduld haben sie entscheidend mit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Auch an meine Eltern ergeht ein herzlicher Dank dafür, dass sie mir meine Ausbildung ermöglicht haben. Nicht zu vergessen auch meine Schwiegereltern, die durch Kinderbetreuung und die zur Verfügung Stellung von Räumlichkeiten die Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben.

Dr.-Ing. Robert Klingel und Dipl.-Ing. Tim Angerer danke ich für die langen Diskussionen und die wertvollen Anregungen während der Erstellung der Arbeit. 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.

München, im Oktober 2002

Paul Ross

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation in der Montage	1
1.2	Ansätze zur Rationalisierung der Montage	2
1.3	Zielsetzung der Arbeit	7
1.4	Vorgehensweise	8
2	Situationsanalyse	11
2.1	Übersicht	11
2.2	Begriffe und Definitionen	11
2.3	Kriterien zur Beurteilung von Verfahren zur Bestimmung der Automatisierbarkeit	15
2.4	Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung	16
2.4.1	Übersicht	16
2.4.2	Methode nach Boothroyd und Dewhurst	17
2.4.3	Assemblability Evaluation Method nach Hitachi	19
2.4.4	Regeln für die montagegerechte Bauteilgestaltung	19
2.4.5	Fazit	23
2.5	Bei der Montagesystemplanung eingesetzte Bewertungsmethoden	24
2.5.1	Nutzwertanalyse	24
2.5.2	Investitionsrechnung	28
2.6	Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung	33
2.6.1	Vorbemerkung	34
2.6.2	Beurteilung der Automatisierbarkeit nach BULLINGER	35

2.6.3	Beurteilung der Automatisierbarkeit nach KONOLD & REGER.....	38
2.6.4	Beurteilung der Automatisierbarkeit nach LOTTER	41
2.6.5	Beurteilung der Automatisierbarkeit nach GROB UND HAFFNER.....	43
2.6.6	Beurteilung der Automatisierbarkeit nach BICK	45
2.6.7	Beurteilung der Automatisierbarkeit nach BOOTHROYD	47
2.6.8	Beurteilung der Automatisierbarkeit nach PRELAZ.....	48
2.7	Fazit und Konsequenz.....	52
3	Konzeption der Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades.....	54
3.1	Übersicht.....	54
3.2	Anforderungen an die Methode.....	55
3.3	Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades	56
3.3.1	Vorgehen zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades.....	56
3.3.2	Datenbasen und Algorithmen.....	58
3.4	Zusammenfassung.....	61
4	Ausarbeitung der Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades.....	63
4.1	Übersicht.....	63
4.2	Technische Bewertung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen	63
4.2.1	Ablauf der technischen Bewertung.....	63
4.2.2	Kriterien zur Bewertung des Realisierungsaufwandes und deren Ausprägungen.....	64
4.2.3	Einfluss der Kriterien auf den Automatisierungsaufwand bei Handhabung und Fügen	77

4.2.4	Inhalte der Produktinformationsdatenbasis	78
4.2.5	Inhalte der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis	79
4.2.6	Struktur der Datenbasis	81
4.3	Monetäre Bewertung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen...	84
4.3.1	Ablauf der monetären Bewertung	84
4.3.2	Bestimmung der zulässigen Investitionen für eine automatisierte Montagesystemlösung	85
4.3.3	Bestimmung der Mindestkosten einer automatisierten Lösung	90
4.4	Zusammenfassung.....	91
5	Praktische Anwendung der Methode	92
5.1	Übersicht	92
5.2	Anwendung der Methode bei vorhandenen manuellen Montagesystemen	93
5.3	Anwendung der Methode bei der Neuplanung von Montagesystemen ...	97
5.4	Entwicklung des Rechnerwerkzeuges RUMBA.....	104
6	Bewertung der Methode.....	107
6.1	Allgemeines.....	107
6.2	Erfüllung der Anforderungen.....	108
6.3	Erschließbare Potentiale.....	109
7	Zusammenfassung und Ausblick	112
8	Literaturverzeichnis.....	114
9	Glossar.....	128

Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
b	[%]	Anteiliger Bediener bei automatischer Anlage
E	[N/mm ²]	Elastizitätsmodul
G	[N/mm ²]	Schubmodul
h	[mm]	Durchbiegung
i	[%/a]	Instandhaltungskosten bezogen auf die Investition
I_{aut}	[€]	Investitionen für ein automatisiertes Montagesystem
I_{man}	[€]	Investitionen für ein manuelles Montagesystem
I_y	[mm ⁴]	Flächenträgheitsmoment um die y-Achse
K_L	[€/h]	Durchschnittliche Lohnkosten eines Montage-Mitarbeiters
$K_{MH,aut}$	[€/h]	Maschinenstundensatz des automatischen Montagesystems
$K_{MH,man}$	[€/h]	Maschinenstundensatz des manuellen Montagesystems
l	[mm]	Länge
n	[Stück/a]	Stückzahl
T_{AB}	[a]	Abschreibungszeitraum
T_{AM}	[a]	Amortisationszeit
t_{aut}	[s/Stück]	Montagezeit bei automatisierter Montage
t_{man}	[s/Stück]	Montagezeit bei manueller Montage
T_N	[h/a]	Nutzungszeit der Investition
w		Anzahl der parallel montierenden Montage-Mitarbeiter
z	[%/a]	Kalkulatorische Zinsen bezogen auf die Investition

Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
A_i	Alternative i
BBT	Basisbauteil
BG	Baugruppe
E_i	Erfüllungsgrad des Kriteriums i
F	Fügen
FBT	Fügebauteil
GB	Greifbehälter
G_i	Gewichtung des Kriteriums i
HH	Handhabung
KDB	Kriteriendatenbasis
K_i	Kriterium i
N	Nutzwert
NWA	Nutzwertanalyse
PIDB	Produktinformationsdatenbasis
RUMBA	Rechnerwerkzeug zur Unterstützung der Methode zur Bewertung der Automatisierbarkeit
VLDB	Vergleichs- und Lösungsdatenbasis
WT	Werkstückträger

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation in der Montage

Produzierende Unternehmen sehen sich durch die zunehmende Globalisierung einem immer stärkeren Konkurrenzkampf ausgesetzt. Die Märkte haben sich von Verkäufermärkten hin zu Kundenmärkten entwickelt. Zur Erreichung einer starken Marktposition und zur Bindung der Kunden an das eigene Unternehmen werden alle Anstrengungen unternommen, die Wünsche des Kunden durch individuell auf seine Bedürfnisse zugeschnittene Produkte zu erfüllen [FELDMANN U. A. 2001, SCHRAFT & KAUN 1999, S. 24, SLAMA 2001, SPATH & BAUMEISTER 2001, , WIENDAHL & RÖHRIG 1999]. Dies führt zu steigenden Anforderungen an die Produktqualität und -funktionalität, einem starken Ansteigen der Variantenzahl sowie zu massivem Druck auf die Produzenten sowohl die Zeit bis zur Auslieferung des Produktes an den Kunden ("time to customer") als auch die Produktkosten erheblich zu reduzieren [FELDMANN U. A. 2001a, RADZISZEWSKI 1997, REINHART U. A. 1997, SPATH & BAUMEISTER 2001, WESTKÄMPER 1998, WIENDAHL U. A. 2001].

Die Montage als Brückenkopf zum Kunden spielt in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle in der Wertschöpfungskette. Sie unterliegt vielfältigen Wirkungen und Einflüssen der vorgelagerten Bereiche von der Entwicklung bis hin zur Teilefertigung und ist somit das Sammelbecken aller Fehler und Terminverzögerungen in der gesamten Produktion [BURTON & FORD 1985, FELDMANN U. A. 2001, HESSE 1993 S. 9, MILBERG 1989, REINHART & SCHNEIDER 1996, SLAMA 2001]. Dies verursacht einen dementsprechend hohen technologischen und organisatorischen Aufwand, hohe Durchlaufzeiten und damit verbunden hohe Kosten. Der Lohnkostenanteil an den Herstellkosten liegt nach LOTTER (1982) im Bereich der Montage zwischen 55% und 75%, die anteiligen Montagekosten an den Produktherstellkosten betragen bis zu 70% [GAIROLA 1985]. ANDREASEN U. A. (1988, S. 161) beziffern den Anteil der Montagekosten an den gesamten Produktionskosten auf 30% und den Anteil der Montagezeit an der Produktionszeit auf 60%. Die hohen Kosten- und Zeitanteile der Montage an der gesamten Produktion lassen ein erhebliches Rationalisierungspotential im gesamten Bereich der Montage von der Montageplanung und -vorbereitung bis zur Ausführung der Montage erkennen.

1.2 Ansätze zur Rationalisierung der Montage

Der Tatsache, dass in der Montage ein sehr hohes Rationalisierungspotential vorliegt, wurde durch die Entwicklung und Untersuchung einer Vielzahl verschiedener Ansätze zur Rationalisierung in der Montage Rechnung getragen. Unter Rationalisierung wird hierbei folgendes verstanden [BROCKHAUS 1959, S. 282]:

„Rationalisierung, die Ersetzung herkömmlicher Verfahren durch verstandesgemäß durchdachte, zweckmäßigere. Rationalisierung durch technische und organisatorische Verbesserungen und Vereinfachungen hat das Ziel, die Leistungen zu erhöhen und die Kosten zu senken, d.h. die Produktivität und damit die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Rationalisierung wird häufig durch höheren Kapitaleinsatz bewirkt, der zu einer stärkeren Mechanisierung bis hin zur Automatisierung führt. Auch ohne vermehrten Kapitaleinsatz können die Betriebe rationalisiert werden durch Verbesserung der Betriebsorganisation, des Materialflusses, der Lagerhaltung, der Arbeitsvorbereitung des Rechnungswesens und Vereinfachung der Arbeitsmethoden. Knappheit an Arbeitskräften regt die Betriebe zur Rationalisierung an, desgleichen harter Konkurrenzkampf unter den Produzenten.“

Die Maßnahmen zur Rationalisierung werden in konstruktive, technologische, organisatorische und arbeitswissenschaftliche Maßnahmen eingeteilt [siehe z.B. ABELE U. A. 1984, DILLING U. A. 1975, EVERSHEIM 1987, LOTTER & SCHILLING 1994, SELIGER 1994, WARNECKE & SCHRAFT 1984]. Im folgenden sollen einige der möglichen Rationalisierungsansätze vorgestellt werden (Abbildung 1.1).

Organisatorische und arbeitswissenschaftliche Rationalisierungsansätze

Als eine Möglichkeit dem stetig zunehmenden Kostendruck auszuweichen wurde von vielen Unternehmen die Verlagerung von kostenintensiven Produktionsschritten, also insbesondere der Montage, in Niedriglohnländer gesehen. Dass dies unter Berücksichtigung aller Randbedingungen, wie z.B. logistischer Aufwand oder Lieferbereitschaft, nicht immer der richtige Weg zur Kostenreduzierung ist, zeigt die zunehmende Rückverlagerung von Produktionsstätten aus dem Ausland zurück nach Deutschland [REINHART 1998, SCHÖNHEIT 1998, SCHRAFT 2001, SCHRAFT & KAUN 1999, WIENDAHL & RÖHRIG 1999].

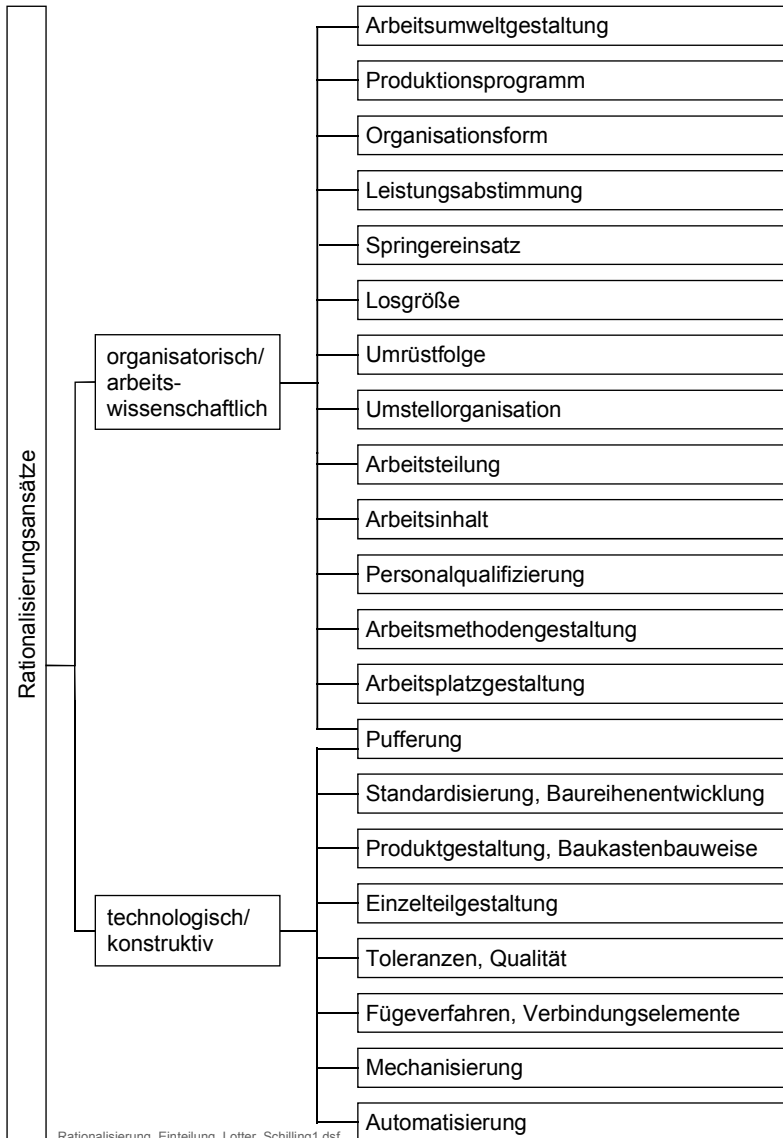


Abbildung 1.1: Rationalisierungsansätze nach LOTTER & SCHILLING (1994)

Eine Integration von Fertigungs- und Montage bzw. Handhabungsschritten direkt am Ort der Montageausführung zur Vermeidung von Füge- oder Handhabungsoperationen stellt eine weitere Möglichkeit zur organisatorischen Rationalisierung dar [SCHNEIDER 1999, SEIDEL 1995]. Auch andere organisatorische bzw. arbeitswissenschaftliche Maßnahmen wie Überprüfung und Veränderung von Arbeitsabläufen, Arbeitsorganisation und -strukturierung dienen zur Rationalisierung der Montage.

Technologische und konstruktive Rationalisierungsansätze

Technologische Ansatzpunkte sind beispielsweise der Einsatz einfacher, kostengünstiger Fügeverfahren, integrierter Verbindungselemente sowie Mechanisierung und Automatisierung.

Die Kosten für Komponenten der Automatisierungstechnik sind in den letzten Jahren bei gleichzeitig stark gesteigener Leistungsfähigkeit stark gesunken. So kosten beispielsweise Industrieroboter heutzutage nur noch zwischen 40% und 60% des Preises, den sie noch in den achtziger Jahren gekostet haben [NEUGEBAUER 1999, PRODUKTION 1999, SCHNEIDER 1998, SCHRAFT 2001, SCHRAFT & KAUN 1999, WESTKÄMPER 1997]. Daher kann eine Rationalisierung auch durch eine an das Produktionsprogramm angepasste Automatisierung der Montage erfolgen [BÖNKER & SCHMIDT 2001, FELDMANN U. A. 2001, PRODUKTION 1999a, SLAMA 2001, SPATH 1999, SPATH & BAUMEISTER 2001, WESTKÄMPER 1997, WIENDAHL U. A. 2001]. Dadurch ist es möglich, die Stückkosten für die Montage eines Produktes auf einen minimalen Wert zu reduzieren (Abbildung 1.2) [FICHTMÜLLER 1996, S. 7, REINHART & FICHTMÜLLER 1994, WIENDAHL & RÖHRIG 1999a]. Der Boom der Automatisierungstechnik in den letzten Jahren und die guten Prognosen für die Zukunft unterstreichen diese Aussage [BÖNKER & SCHMIDT 2001, GREBE 2001, GRUNDLER 2001, IWD 2001, PRODUKTION 2000, S.1, VDI-NACHRICHTEN 2001, WESTKÄMPER 1997].

Durch die Automatisierung kann ferner eine Steigerung der Mengenleistung, die Reduktion der Ausschussquote sowie eine gleichmäßige und höhere Produktqualität erreicht werden [FELDMANN U. A. 2001]. Weiterhin bestehen an bestimmten Arbeitsplätzen rechtliche bzw. soziale Gründe, die eine Automatisierung unbedingt erforderlich machen. Hierzu gehört insbesondere die Notwendigkeit Menschen nicht in einer gefährlichen Umgebung einzusetzen. Auch die Entlastung der Mitarbeiter von eintönigen, monotonen oder körperlich anstrengenden Aufgaben sowie andere ergonomische Gründe sind häufig der Anlass für Automati

sierungsmaßnahmen. Ein weiterer positiver Nebeneffekt kann die Reduzierung der Abhängigkeit vom Arbeitsmarkt sein [BOOTHROYD 1992, EVERSHEIM & SCHUH 1996 S. 10-6, GRUNDLER 2001, LÖHR 1977]. Einige Automatisierungsvorhaben scheitern jedoch am fehlenden Überblick über die derzeit marktgängigen Komponenten der Automatisierungstechnik und dem fehlenden Automatisierungs-Know-how in den planenden Bereichen [NOLTING 1988, S. 26].

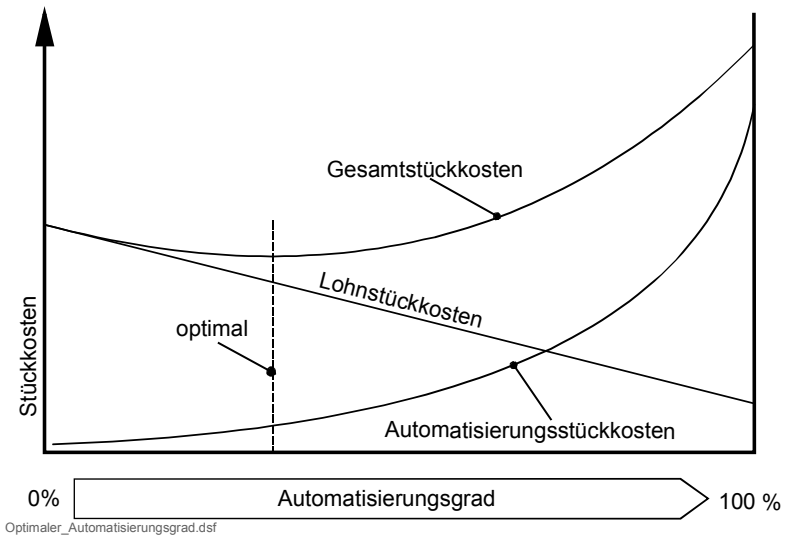


Abbildung 1.2: Stückkosten eines Produktes in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad (nach FICHTMÜLLER 1996)

Erhebliche Rationalisierungspotentiale im Bereich der Montage lassen sich durch eine montagegerechte Produktgestaltung bzw. -strukturierung erreichen. Hierzu gehören beispielsweise Standardisierung, Baureihenentwicklung oder Baukastenbauweise [FELDMANN U. A. 2001a, KONOLD & REGER 1997]. Auch die montage- und handhabungsgerechte Einzelteilgestaltung sowie die Berücksichtigung von Toleranzketten, verbessertes Qualitätsmanagement, die optimale Anpassung der eingesetzten Fügeverfahren oder die anforderungsgerechte Gestaltung von Verbindungselementen bieten ein hohes Rationalisierungspotential. In diesen Bereichen liegen bereits seit Jahren eine Vielzahl von Methoden und Werkzeugen vor, die die montage- und handhabungsgerechte Produkt- und Bauteilgestal-

tung zum Ziel haben [ANDREASEN U. A. 1985, BARTHELMEß 1987, BOOTHROYD & DEWHURST 1986, GAIROLA 1985, REDFORD & CHAL 1994, VDI-Richtlinie 3237]. Trotzdem sind die Potentiale durch montagegerechte Produkt- und Bauteilgestaltung bei weitem noch nicht ausgeschöpft [KONOLD & REGER 1997, SCHRAFT & KAUN 1999, S.30]. Durch die zunehmende Verbreitung von Planungsvorgehensweisen, die die Integration von Produkt- und Produktionssystemgestaltung erfordern, ist in Zukunft mit einer weiteren Verbreitung der montagegerechten Produktgestaltung zu rechnen, da die frühzeitige Abstimmung zwischen Konstruktion und Produktionssystemplanung zwangsläufig die Belange der Montage in die Konstruktion einbringt (BARTHELMEß 1987, HESSE 1993, S. 30, EHRENSPIEL 1994, REINHART 1998, REINHART 1998a, REINHART & DÜRRSCHMIDT 2000, WARNECKE & SCHRAFT 1984, S. 2./28). Weiterhin führen die Methoden des Simultaneous bzw. Concurrent Engineering zu einer signifikanten Verkürzung der Planungsdauer, was zu einer weiteren Rationalisierung beiträgt [EHRENSPIEL 1994, KONOLD & REGER 1997]. Bei der Entwicklung und Planung von Produkt und Montagesystem ist die Zeit ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor, der noch vor den für die Entwicklung und Planung aufzuwendenden Ausgaben rangiert. Eine um sechs Monate verspätete Markteinführung eines Produktes reduziert den Gewinn um 30-50% [LINDEMANN & REICHWALD 1998, S. 209, VESEY 1991, S.23FF] (Abbildung 1.3).

Die Kurve 1 in der Abbildung 1.3 dient als Referenzkurve für den Verlauf der Planungskosten und des Ertrags bei Planung und Einsatz eines Montagesystems. Der Planungsprozess der Kurve 2 hat höhere Kosten verursacht als die Referenzplanung, dabei aber eine bessere Planungsqualität ergeben. Der Ertrag der mit dem Montagesystem aus der Planung 2 erzielt werden kann, ist höher als der bei der Planung 1, so dass hier trotz höherer Planungskosten eine schnellere Rückgewinnung des eingesetzten Kapitals erfolgen kann. Bei der Planung des Montagesystems nach Kurve 3 konnte die Planungszeit gegenüber den beiden ersten Varianten unter Inkaufnahme höherer Kosten reduziert werden. Die Qualität und damit der Ertrag, der mit diesem Montagesystem erzielt werden kann ist genau so hoch wie bei der Planung nach 2. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, führt die Verkürzung der Planungszeit trotz der höheren Kosten der Planung zu einer weiteren Reduzierung der Amortisationszeit.

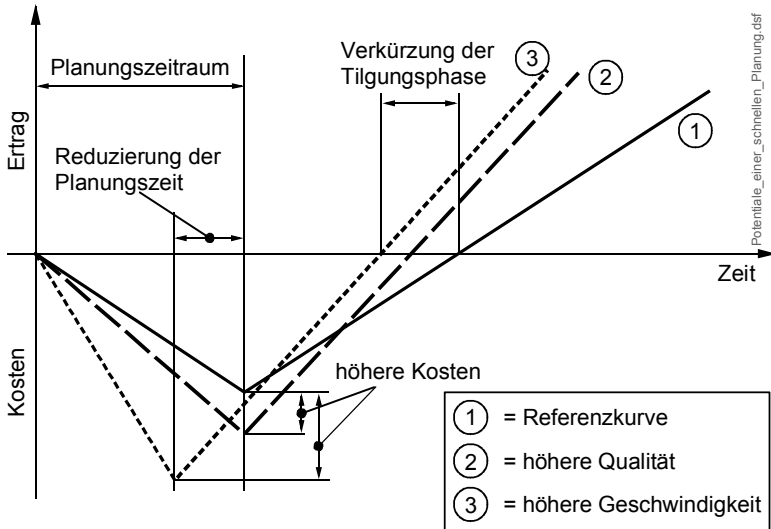


Abbildung 1.3: Potentiale einer schnellen Planung (nach SCHILDE 1982)

Trotz der aufgezeigten Potentiale und der daraus resultierenden Anstrengungen bleibt der Automatisierungsgrad der Montage derzeit noch hinter dem der Teilefertigung zurück [BICK 1991, HOBMANN 1991, REINHART 1998]. Er liegt beispielsweise im Bereich der PKW Endmontage erst bei ca. 10%. Die allgemein hinter den Prognosen zurückbleibende Steigerung des Automatisierungsgrades in der Montage bedeutet, dass trotz aller bereits durchgeführten Rationalisierungsbemühungen immer noch ein erhebliches Potential vorliegt [REINHART 1998, WESTKÄMPER 1997]. Um einen Teil des aufgezeigten Potentiales ausschöpfen zu können, muss der Planer in die Lage versetzt werden, so früh wie möglich den optimalen Automatisierungsgrad von Montageprozessen zu ermitteln.

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Methode erarbeitet, die dem Planer eines Montagesystems bereits in der Grobplanungsphase die Beurteilung der wirtschaftlichen Automatisierbarkeit einzelner Montageprozesse ermöglicht. Hierfür soll anhand der verfügbaren Produkt- und Prozessinformationen eine Aussage

über den Aufwand hergeleitet werden, der bei einer automatisierten Montage entstehen wird. Die Nutzung der Methode soll eine schnelle Eingrenzung des möglichen Lösungsraumes für verschiedene alternative Realisierungsformen der Montage ermöglichen und so die Planungsdauer bei gleichbleibender oder verbesserter Qualität signifikant reduzieren (Abbildung 1.4). Dadurch können die aufgezeigten Potentiale einer schnellen Planung mit optimalem Automatisierungsgrad ausgeschöpft werden. [BICK 1991, EHRENSPIEL 1994, KETTNER 1987, MERZ 1987, OCHS 1989, PISCHETSRIEDER 1994].

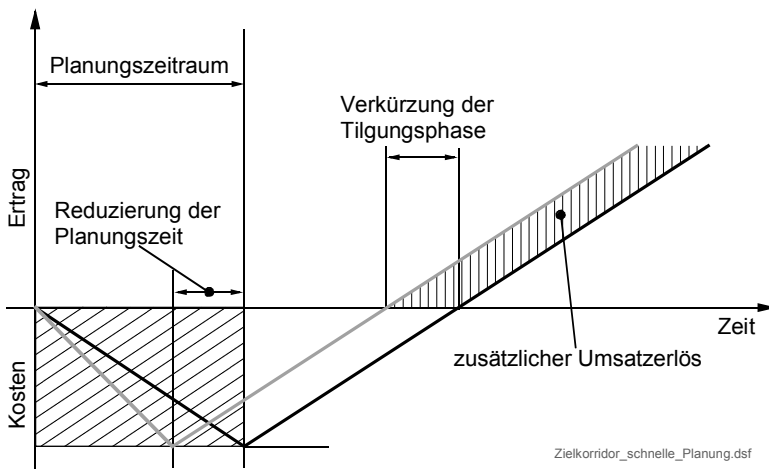


Abbildung 1.4: Zielsetzung der Arbeit

1.4 Vorgehensweise

Vorgehensweise und Gliederung dieser Arbeit sind in Abbildung 1.5 dargestellt.

In **Kapitel 2** werden nach der Definition von einigen für diese Arbeit wichtigen Begriffen zunächst Kriterien zur Beurteilung von Verfahren zur Bestimmung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen erarbeitet. Anschließend erfolgt eine Darstellung von Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung und von Regeln zur montagegerechten Bauteilgestaltung, da diese eine Grundlage für die zu entwickelnde Methode sind. Danach werden Verfahren zur Bewertung von

alternativen Montagesystemen vorgestellt, die im Rahmen der Montagesystemplanung zum Einsatz kommen können. Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Untersuchung von ausgewählten Methoden der Montagesystemplanung, um dadurch Vorgehensweisen zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades zu identifizieren und zu bewerten.

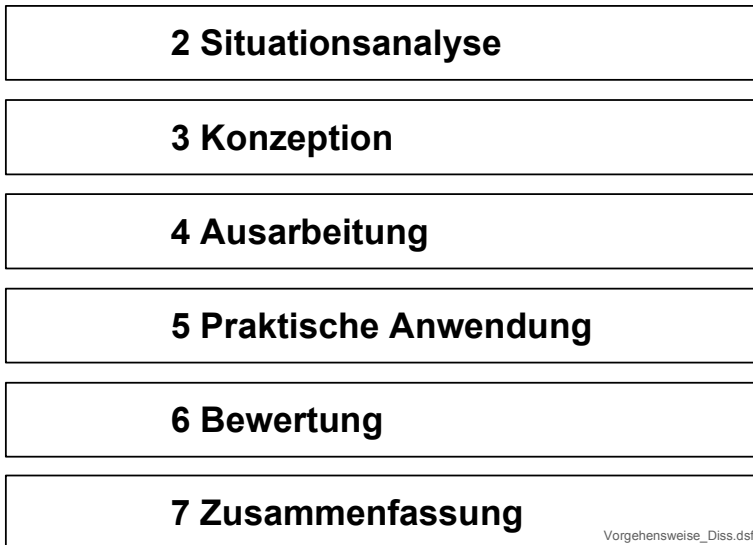


Abbildung 1.5: Vorgehensweise und Gliederung der Arbeit

Im **Kapitel 3** werden aufgrund der aufgezeigten Defizite entsprechende Anforderungen an die Methode zur frühzeitigen Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montagesystemplanung abgeleitet. Auf Basis dieser Anforderungen wird das Konzept erstellt und Hilfsmittel für die Anwendung der entwickelten Methode vorgeschlagen. Die Ausarbeitung der vorgeschlagenen Methode erfolgt im **Kapitel 4**.

Kapitel 5 beschreibt die praktische Anwendung der Methode. Zum einen wird die Anwendung anhand von zwei unterschiedlichen Praxisbeispielen näher erläutert. Zum anderen wird die Entwicklung des Rechnerwerkzeuges (RUMBA) zur Unterstützung der Anwendung der vorgestellten Methode dargestellt.

Eine Bewertung der entwickelten Methode bezüglich der Erfüllung der aufgestellten Anforderungen und der erschließbaren Potentiale wird in **Kapitel 6** durchgeführt und **Kapitel 7** fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen.

2 Situationsanalyse

2.1 Übersicht

Zunächst werden in Kapitel 2.2 einige für diese Arbeit wichtige Begriffe definiert. Anschließend werden Kriterien für die Beurteilung von Verfahren zur Bestimmung der Automatisierbarkeit erarbeitet (Kapitel 2.3). Da die Regeln und Richtlinien für die montagegerechte Produktgestaltung für die zu erarbeitende Methode eine wesentliche Grundlage darstellen, werden im Kapitel 2.4 Methoden und Regeln zur montagegerechten Produkt- und Bauteilgestaltung vorgestellt und bewertet. Danach erfolgt die Vorstellung von Bewertungsmethoden, die im Rahmen der Montagesystemplanung häufig zur Vorbereitung der Auswahl unterschiedlicher Systeme zum Einsatz kommen (Kapitel 2.5). Dann erfolgt eine Analyse von ausgewählten Methoden zur Planung von Montagesystemen, um die von den jeweiligen Autoren vorgeschlagenen Methoden zur Bestimmung der Automatisierbarkeit zu ermitteln (Kapitel 2.6). Die ermittelten Methoden werden anhand der bereits aufgestellten Kriterien (Kapitel 2.3) bewertet. Ziel ist es, die Defizite der Methoden zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades aufzuzeigen (Kapitel 2.7).

2.2 Begriffe und Definitionen

Automatisieren [DIN 19233]

Automatisieren heißt künstliche Mittel einzusetzen, damit ein Vorgang automatisch abläuft. Bei einer Anlage bedeutet das, sie mit Automaten so auszurüsten, dass sie automatisch arbeitet. Die Automatisierung ist das Ergebnis des Automatisierens.

Automat [DIN 19233]

Ein Automat ist ein künstliches System, das selbsttätig ein Programm befolgt. Aufgrund des Programms trifft das System Entscheidungen, die auf der Verknüpfung von Eingaben mit den jeweiligen Zuständen des Systems beruhen und entsprechende Ausgaben zur Folge haben.

Automatisierungsgrad [BULLINGER 1986, S. 273]

Der Automatisierungsgrad beschreibt den Anteil, den automatisierte Funktionen eines Systems an der Gesamtfunktion einer Anlage haben. Er kann nur für ein festgelegtes System angegeben werden, dessen Grenzen bekannt sein müssen. Zahlenmäßig wird der Automatisierungsgrad meist als Quotient der Anzahl von automatisierten Funktionen und der Gesamtzahl der Funktionen eines Systems angegeben, so dass die Zahlenwerte im Intervall zwischen 0 und 1 liegen.

Dokumentation [HIERSIG 1995, S.167, REFA 1990, S. 88]

Unter Dokumentation wird die Sammlung, Speicherung, Ordnung und Auswahl sowie Verbreitung und Nutzbarmachung von Informationen verstanden, sofern sie in Dokumenten aller Art enthalten sind. Zu diesen gehören nicht nur Veröffentlichungen, sondern auch Filme, Akten, Zeichnungen, EDV-Daten usw..

Eine durchgängige und umfassende Dokumentation aller Planungsgrundlagen, Lösungsvarianten und Planungsergebnisse ist erforderlich, um die im Rahmen der Planung und Einführung komplexer Produktionssysteme gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen für zukünftige Projekte zu sichern. Der Gesamttablauf des Projektes wird so, aufbauend auf den in den einzelnen Planungsstufen durchzuführenden Tätigkeiten, auch für nicht unmittelbar an der Planung Beteiligte einwandfrei nachvollziehbar gemacht.

Erfahrung [BROCKHAUS 1958, S. 95]

1) belehrendes Erlebnis: *gute Erfahrungen machen* 2) *Empirie*, das durch Anschauung, Wahrnehmung erworbene Wissen, im Unterschied zu dem durch Denken vermittelten Wissen. Da aber weder Erfahrung noch Denken ohne gegenseitige Mitwirkung zustande kommen, ist der Begriff der Erfahrung sehr vieldeutig. Zum erfahrungsgemäßen wissenschaftlichen Verfahren gehören planmäßige Beobachtungen und Versuche.

Fügen [DIN 8580]

Fügen ist das Verbinden oder sonstige Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstücken geometrisch bestimmter fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosen Soff, wobei Zusammenhalt örtlich geschaffen und damit vermehrt wird.

Funktionsträger [BICK 1991, S. 74]

Funktionsträger sind Montagekomponenten, die innerhalb eines Montagebereiches die notwendigen Funktionen ausführen wie z.B. Industrieroboter oder Vibrationswendelförderer.

Handhaben [VDI 2860]

Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskordinatensystem. Es können weitere Bedingungen – wie z.B. Zeit, Menge und Bewegungsbahn – vorgegeben sein.

Montage [REINHART & SCHNEIDER 1995]

Aufgabe der Montage ist es, aus Teilen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten an unterschiedlichen Orten mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren hergestellt wurden, ein Produkt höherer Komplexität mit vorgegebener Funktion in einer bestimmten Zeit zusammenzubauen.

Montageablauf [HESSE 1993]

Aufeinanderfolge derjenigen Montageprozesse, die zur kompletten Baugruppe oder zum kompletten Produkt führen.

Montageart

Unter Montageart wird im Rahmen dieser Arbeit die Form der Realisierung des Montageprozesses verstanden. Hierfür bestehen die drei Möglichkeiten manuelle (Automatisierungsgrad = 0), teilautomatisierte ($0 < \text{Automatisierungsgrad} < 1$) oder automatisierte Durchführung der Montage (Automatisierungsgrad = 1).

Montageprozess [REINHART & SCHNEIDER 1995]

Ein Montageprozess bildet sich aus der Kombination von Füge-, Handhabungs- und Sonderfunktionen (z.B. Justage, Reinigen) (Abbildung 2.1).

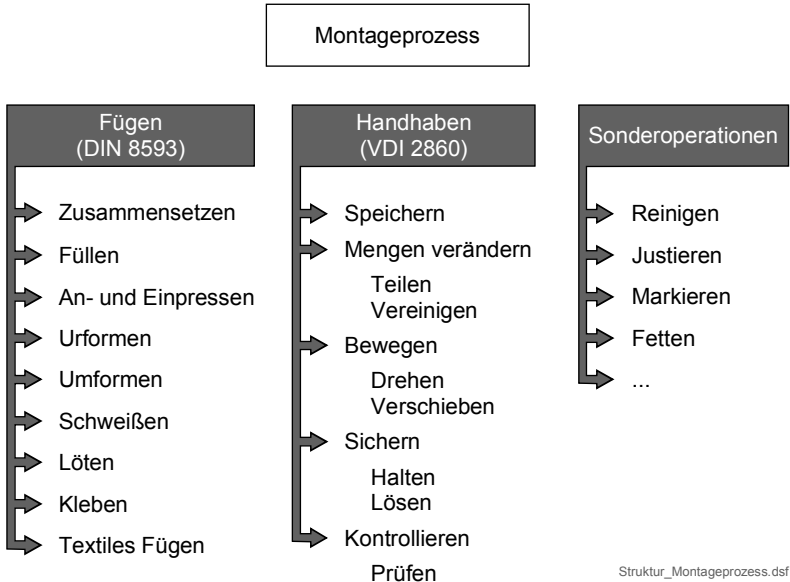


Abbildung 2.1: Strukturierung von Montageprozessen

Montagesystem [REFA 1990, S. 42, MERZ 1987, S. 34]

Zum Montagesystem zählen alle Einrichtungen, die als Betriebsmittel den Produktionsfortschritt im Sinne der Aufgaben des Montagesystems bewirken. Dies sind also beispielsweise Maschinen, Werkzeuge, Vorrichtungen, Mess- und Prüfeinrichtungen. In einem Teilsystem wird nicht der gesamte Umfang zur Fertigstellung eines Produktes ausgeführt (Vor- und Endmontagen).

Montagevorranggraph

Beim Montagevorranggraph handelt es sich um eine netzplanähnliche Darstellung von Teilaufgaben der Montage, in der die Teilaufgaben als Knoten und die Abhängigkeitsbeziehungen als Verbindungslinien (Kanten) zwischen den Knoten dargestellt werden. Die Teilaufgaben werden zum Zeitpunkt der frühesten Ausführbarkeit eingetragen. Das Ende der von einem Knoten ausgehenden Kanten verdeutlicht den Zeitpunkt, zu dem die Teilverrichtung spätestens ausgeführt sein muss (Abbildung 2.2).

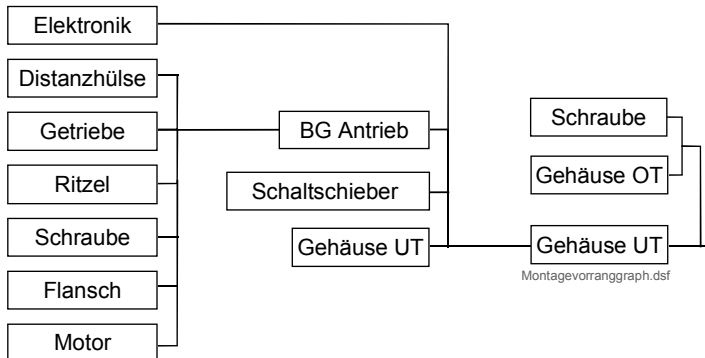


Abbildung 2.2: Darstellung eines Montagevorranggraphen

Teilverrichtung [KONOLD & REGER 1997, S.28]

Eine Teilverrichtung ist eine Tätigkeit, die sinnvoll nicht weiter teilbar ist.

2.3 Kriterien zur Beurteilung von Verfahren zur Bestimmung der Automatisierbarkeit

Für die frühzeitige Bewertung des Aufwandes für die Realisierung einer automatisierten Montage sind in erster Linie Informationen über das Produkt, z.B. Eigenschaften des Füge- und des Basisbauteiles, sowie Prozessinformationen notwendig. Diese Informationen sind bereits vom Konstrukteur festgelegt [FELDMANN U. A. 2001, S. 13].

Sofern die Bewertungsmethode für die Bestimmung der Automatisierbarkeit auch Informationen über das Montagesystem erfordert, ist der Aufwand für die Beschaffung der Eingangsinformationen höher, da das Montagesystem entsprechend zu detaillieren ist. Je höher der notwendige Detaillierungsgrad des Montagesystems sein muss, desto später kann die Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades erfolgen.

Nicht alle Methoden zur Beurteilung der Automatisierbarkeit können auf quantifizierbare Informationen zurückgreifen, wodurch ist die Nachvollziehbarkeit einer Entscheidung nicht immer gegeben ist. Weiterhin erlauben nicht alle Metho

den auch Aussagen über die Automatisierbarkeit von Teilfunktionen des Montageprozesses.

Bei den Methoden, die nicht auf eine quantifizierte Bewertung zurückgreifen können, ist Notwendigkeit von Erfahrungswissen deutlich höher als bei Vorgehensweisen, die eine quantifizierte Bewertung des Aufwandes für eine Realisierung ermöglichen.

Aus den gemachten Ausführungen lassen sich folgende Kriterien zur Beurteilung von Verfahren zur Bestimmung des Automatisierungsgrades ableiten:

Sind Systeminformationen notwendig ?
Zu welchem Zeitpunkt kann die Bewertung durchgeführt werden?
Beruhet das Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information ?
Erlaubt die Bewertung eine Aussage über die Automatisierbarkeit von Teilfunktionen ?
Wie viel Erfahrungswissen erfordert die Bewertung?

Tabelle 2.1: Kriterien für die Bewertung von Verfahren zur Bestimmung der Automatisierbarkeit

2.4 Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung

2.4.1 Übersicht

Ein montagegerecht konstruiertes Produkt vereinfacht die Realisierung der Montage unabhängig davon, ob sie manuell oder automatisiert durchgeführt wird. Durch die Berücksichtigung der Regeln für das montagegerechte Gestalten werden bei der Produktkonstruktion die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass bei der Montage erhebliche Rationalisierungspotentiale erschlossen werden können, indem beispielsweise Montagevorgänge vereinfacht oder ganz vermieden werden. Werden am Produkt im Rahmen der Montageplanung Schwachstellen bei der montagegerechten Gestaltung identifiziert, so können diese kurzfristig

nur noch an einzelnen Bauteilen optimiert werden. Eine Veränderung des gesamten Produktes ist kurzfristig nicht mehr möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine große Zahl von Methoden und Regeln zur montagegerechten Produkt- und Bauteilgestaltung analysiert [ANDREASEN U. A. 1985, BOOTHROYD & DEWHURST 1986, GAIROLA 1985, WARNECKE & SCHAFT 1984, S. 2./6]. Im folgenden Kapitel werden ausgewählte Methoden sowie Regeln für eine montagegerechte Bauteilgestaltung aus den verschiedenen Methoden zusammengefasst dargestellt.

2.4.2 Methode nach Boothroyd und Dewhurst

Ziel dieser Methode ist es, den Montageaufwand durch die Reduzierung der Anzahl der zu montierenden Bauteile zu minimieren. Zusätzlich wird jedoch auch die Gestalt der Einzelteile für das Handhaben und Fügen optimiert. Das Vorgehen bei dieser Methode gliedert sich in die drei Schritte *Auswahl des Montageprinzips*, *Analyse der Montageaufgabe* und *Verbesserung der Konstruktion* [BOOTHROYD 1992, BOOTHROYD U. A. 1994, BOOTHROYD & DEWHURST 1986].

Als *Montageprinzipien* werden von BOOTHROYD & DEWHURST die manuelle Montage, die starr automatisierte Montage und die flexible Montage mit Industrierobotern unterschieden. Die Auswahl der Montageprinzipien erfolgt erfahrungsbasiert unter Nutzung von Tabellen. Wesentliche Einflussfaktoren hierbei sind: Stückzahl pro Jahr, Anzahl der zu montierenden Teile für das Produkt und das Produktspektrum, Variantenzahl, Produktlebensdauer, Amortisationszeit, Kosten für einen Montagemitarbeiter sowie Investitionssumme für die manuelle Montage.

Für die *Analyse der Montageaufgabe* stehen entsprechende Formblätter und Tabellen zur Verfügung, die der Ermittlung der voraussichtlich auftretenden Montagezeiten und -kosten sowie der theoretisch minimal notwendigen Bauteile dienen.

Die Montagezeiten für die manuelle Montage werden aus Tabellen entnommen, die unter Nutzung von Systemen vorbestimmter Zeiten erstellt wurden. Die entstehenden Kosten können dann über den Kostensatz des Montagemitarbeiters berechnet werden. Für automatisierte Montage werden je nach Schwierigkeit der Handhabung und des Fügens ausgehend von Funktionsträgern entsprechende Kostenzuschläge abgeleitet und in Tabellen hinterlegt.

Die theoretisch minimale Anzahl der Bauteile wird bestimmt, indem für zwei miteinander in Verbindung stehende Bauteile folgende Fragen beantwortet werden:

- Müssen sich die Bauteile zur Erfüllung der Produktfunktion relativ zueinander bewegen?
- Müssen die Bauteile aus unterschiedlichen Materialien bestehen?
- Müssen die Bauteile zur Montage oder Demontage anderer Bauteile oder zur Erfüllung der Produktfunktion voneinander getrennt werden?

Sofern keine dieser Fragen mit ja beantwortet werden kann, ist eine Zusammenfassung der Bauteile möglich. Werden diese Fragen für alle Bauteile des Produktes beantwortet, so ergibt sich die theoretisch minimale Bauteilanzahl. Das Ergebnis der Montageablaufanalyse ist der Faktor DE (design efficiency). Hierfür wird die theoretisch minimale Bauteilanzahl mit der idealen Montagezeit bzw. den idealen Montagekosten multipliziert und durch die real notwendige Gesamtmontagezeit bzw. Gesamtmontagekosten des betrachteten Produktes geteilt. Dieser Faktor bewegt sich zwischen 0 (sehr schlecht) und 1 (optimal).

$$DE = \frac{n_{\min} \cdot t_{ideal}}{t_{real}} \quad \text{bzw.} \quad DE = \frac{n_{\min} \cdot K_{ideal}}{K_{real}}$$

mit:

n_{\min} = theoretisch minimale Teileanzahl

t_{ideal} = ideale Montagezeit für einen Prozess

t_{real} = real notwendige Gesamtmontagezeit für betrachtetes Produkt

K_{ideal} = ideal anfallende Montagekosten für einen Prozess

K_{real} = real anfallende Gesamtmontagekosten für betrachtetes Produkt

Gleichung 2-1: Bestimmung des Faktors DE (design efficiency)

Auf Basis der Untersuchung wird entschieden, ob eine *Verbesserung der Konstruktion* des Produktes aus montagetechnischer Sicht notwendig ist. Das modifizierte Produkt wird wieder analysiert, um die montagetechnische Verbesserung zu ermitteln.

2.4.3 Assemblability Evaluation Method nach Hitachi

Bei der Assemblability Evaluation Method (AEM) nach Hitachi handelt es sich um eine abschätzende Bewertung der Montagegerechtigkeit im Team auf deren Basis sich die zu erwartenden Montagekosten ableiten lassen. Die Methode unterscheidet nicht zwischen den verschiedenen Montageprinzipien, da die Entwickler dieser Methode glauben, dass es für die montagegerechte Konstruktion keinen Unterschied macht, welches Montageprinzip zum Einsatz kommen wird. Weiterhin sind sie der Meinung, dass der Konstrukteur das zum Einsatz kommende Montageprinzip in der frühen Phase der Produktentwicklung nur sehr schlecht ermitteln kann (BOOTHROYD & ALTING 1992, WARNECKE & SCHRAFT 1984).

Bei der Anwendung der Methode wird anhand von Zeichnungen und Mustern die Fügereihenfolge ermittelt und in AEM-Formblättern dokumentiert. Anschließend legt das Bewertungsteam die jeweils anzuwendenden Fügeverfahren fest und überträgt diese ebenfalls in die Formblätter. Anhand von Vergleichstabellen kann unter Zuhilfenahme eines Formelwerkes der Wert E, ein technisch ermittelter Qualitätsfaktor für die Montagegerechtigkeit, sowie der Kostenfaktor K als geschätztes Verhältnis der Montagekosten eines neuen Produktes zum Ausgangsprodukt ermittelt werden. Der Wert E kann bei einer optimalen montage-technischen Produktgestaltung maximal 100 erreichen.

Sofern sich die Bewertungsgrößen E und K eines Produktes als nicht akzeptabel erweisen, muss eine Überarbeitung des Produktes in den als Schwachstellen erkannten Bereichen erfolgen.

2.4.4 Regeln für die Montagegerechte Bauteilgestaltung

Die montagegerechte Bauteilgestaltung hat das Ziel, die Handhabung und das Fügen der Bauteile zu vereinfachen. Für die montagegerechte Bauteilgestaltung wurden von verschiedenen Autoren einige allgemeingültige Regeln aufgestellt.

- Vermeide nicht formstabile Bauteile wie Kabel oder Folien

Nicht formstabile Bauteile stellen besondere Anforderungen an Automaten zum Ordnen, Vereinzeln und Positionieren. Dies liegt daran, dass die Bauteile bereits unter Einwirkung kleiner äußerer Kräfte ihre Gestalt verändern. Dadurch ist die Möglichkeit, Kräfte in nicht formstabile Bauteile einzuleiten stark eingeschränkt.

Deshalb sind beispielsweise taktile Verfahren zum Ordnen nur schlecht einsetzbar [EVERSHEIM & SCHUH 1996, HESSE 1993, S. 27, LOTTER 1986, S. 27, RAHM 1983, S. 463, SCHNEIDER 1999].

- Vermeide empfindliche Bauteile

Empfindliche Bauteile müssen bei der Handhabung und beim Fügen mit erhöhter Vorsicht behandelt werden. Eine Bereitstellung als Schüttgut ist nicht möglich. Auch die Gestaltung von Greifern zum Handhaben und Fügen empfindlicher Bauteile erfordert besondere Aufmerksamkeit. Dies erfordert zusätzlichen Aufwand bei der Planung und Realisierung einer automatisierten Lösung für den Montageprozess [BOOTHROYD 1992, HESSE 1993].

- Greifflächen für Handhabung und Fügen vorsehen

Idealerweise sind die Fügebauteile so gestaltet, dass zur Handhabung und zum Fügen entsprechende Standardgreifer eingesetzt werden können. Falls dies nicht möglich ist, so steigt der Aufwand für die Planung und die Beschaffung der entsprechenden Greifer an. Falls keine Greifflächen vorhanden sind, ist die Handhabung und das Fügen des Bauteils nur mit hohem Aufwand, beispielsweise unter Einsatz von berührungsloser Greiftechnik, möglich.

- Vermeide sehr große oder sehr kleine Bauteile

Das Hüllvolumen beeinflusst den Aufwand für eine Automatisierung eines Montageschrittes. Kleine Bauteile erfordern beispielsweise filigrane Greifer und sehr genaue Positionierung durch entsprechende Handhabungsgeräte. Große Bauteile sind vergleichsweise unhandlich und benötigen entsprechend große und/oder stabil ausgeführte Funktionsträger. Also ist für sehr kleine und sehr große Bauteile der Aufwand für eine Automatisierung höher als bei mittelgroßen Bauteilen [BOOTHROYD 1992].

- Konstruiere Bauteile symmetrisch oder ausgeprägt asymmetrisch

Der Aufwand für die Realisierung einer automatisierten Montage wird durch die Symmetrieeigenschaften der Bauteile beeinflusst. So hängt beispielsweise der Schwierigkeitsgrad bei der Orientierung der Bauteile von den Symmetrieeigenschaften des Bauteiles ab, insbesondere dann, wenn geometrische Merkmale oder Schwerpunktlagen genutzt werden sollen. Auch die Anzahl der Achsen für die Orientierung des Bauteiles vor dem Fügeprozess wird von den Symmetrieeigenschaften beeinflusst. Eine unmarkierte Kugel liegt immer in der richtigen Orien-

tierung vor, so dass keine Achse für die Orientierung erforderlich ist. Möchte man beispielsweise ein Pilzteil in eine Rinne einsetzen, so muss es senkrecht zur Rinne ausgerichtet werden. Hierfür ist eine Achse zur Orientierung notwendig. Rotationssymmetrische Bauteile müssen zum Fügen in ein Loch senkrecht zum Basisbauteil ausgerichtet werden, wofür zwei Achsen notwendig sind. Bei rechteckigen oder komplexeren Geometrien muss eine Orientierung in allen drei Achsen realisiert werden. Weiterhin kann eine Aussage über das Vorhandensein von korrespondierende Flächen als Kraftangriffspunkte aus der Symmetrie hergeleitet werden [BOOTHROYD 1992, EVERSHEIM & SCHUH 1996, SCHNEIDER 1999, SELIGER 1994].

- Konstruiere die Bauteile so, dass sie wenige, stabile Bauteillagen haben

Je weniger stabile Bauteillagen ein Fügebauteil besitzt, desto weniger Handhabungen sind für eine geforderte Bauteillage durchzuführen. Beispielsweise sinkt die Ausbringung eines Vibrationswendelförderers, wenn die Bauteile viele verschiedene Vorzugslagen haben, da über Schikanen und Abweiser die in einer falschen Lage vorliegenden Bauteile abgezweigt werden müssen. Der Aufwand für die Handhabung steigt also mit zunehmender Anzahl und Instabilität der Bauteillagen [BOOTHROYD 1992, HILGENBÖCKER 1985, SCHNEIDER 1999].

- Vermeide ein Verhaken oder aneinander Haften von Bauteilen im Haufwerk

Die Neigung von Bauteilen zum Verhaken, Verklemmen und Überlappen aufgrund der geometrischen Form hat Einfluss auf die Komplexität und Ausführung des Vereinzlungsprozesses. Sofern zum Verhaken oder Durchdringen neigende Bauteile als Schüttgut vorliegen, ist das Vereinzeln äußerst schwierig, da Fügeprozesse wie Ineinanderschieben oder Ineinanderhaken vorliegen. Zum Entwirren reicht es nicht immer aus, erhöhte Kräfte auf die Bauteile aufzubringen, sondern es muss teilweise die gefügte Verbindung wieder gelöst werden [ANDREASEN 1985, BOOTHROYD 1992, HILGENBÖCKER 1985].

- Vermeide Bauteile von schlechter Qualität

Fehlerhafte Fügebauteile, Fremdteile (z.B. Schrauben mit anderer Länge) oder Verschmutzungen (z.B. Späne) stellen Störfaktoren für automatisierte Montagestationen dar und reduzieren deren technische Verfügbarkeit. So kann es zum einen zu einer Beschädigung der Werkzeuge, Greifer oder anderer Funktionsträger kommen und so das Montagesystem ausfallen. Zum anderen können defekte Bauteile die Zuführung oder andere Betriebsmittel blockieren und so eine Behe

bung der Störung erforderlich machen, was die Personalkosten erhöht. Schließlich besteht die Möglichkeit, dass Bauteile in das Produkt montiert werden und so zu einer Steigerung der Ausschussquote verbunden mit hohen Kosten führen. Deshalb müssen bei einer großen Anzahl von fehlerhaften Teilen, Fremdteilen oder einer Verschmutzung Maßnahmen zum Prüfen und Aussortieren der falschen Bauteile getroffen werden. Das hat für die automatisierte Montage einen zusätzlichen Aufwand zur Folge. Bei einer manuellen Ausführung der Montage werden fehlerhafte Bauteile in der Regel vom Mitarbeiter erkannt und können aussortiert werden [HESSE 1993, KETTNER 1987, REDFORD & LO 1992, SCHARF U. A. 1994, WARNECKE & SCHRAFT 1984].

- Nutze einfache, schnelle Fügeverfahren

Mit der Auswahl eines Fügeverfahrens bei der Produktkonstruktion werden auch die entsprechenden Fügebewegungen festgelegt. Jeder Prozess nach DIN 8593 hat seine charakteristische Fügebewegung. So muss etwa beim Prozess Einlegen eine lineare Bewegung durchgeführt werden, beim Schrauben eine linear-rotatorische [BOOTHROYD 1992].

- Erleichtere die Positionierung und Orientierung durch Fügehilfen

BOOTHROYD (1992) hat bei seinen Untersuchungen ermittelt, dass die notwendige manuelle Positionierzeit in Abhängigkeit vom Vorhandensein von Fügehilfen (Fasen) abnimmt. Die längste Montagezeit wird benötigt, wenn keine vorhanden sind. Fügehilfen am Basisbauteil haben weniger Zeiteinsparung zur Folge als welche am Fügebauteil. Das Optimum wird erreicht, wenn an beiden Bauteilen Fasen angebracht werden. Lediglich durch gekrümmte Fügehilfen am Fügebauteil kann die Montagezeit bei kleinen Durchmesserdifferenzen zwischen Bolzen und Loch nochmals reduziert werden [BOOTHROYD 1992, S. 301 f., HESSE 1993, RAHM 1983, S. 463 f.].

- Reduziere die Anzahl der Kontaktstellen und vermeide die gleichzeitige Herstellung

Je weniger Kontaktstellen zwischen einem Fügebauteil und Basisbauteil bestehen, desto montagegerechter ist die Konstruktion. Sofern mehrere Kontaktstellen realisiert werden müssen, so ist darauf zu achten, dass diese nicht gleichzeitig gefügt werden müssen [Hesse 1993, S. 27].

- Füge gegen einen Anschlag

Ein Fügen gegen Rastpunkte oder Anschläge ist einfacher zu realisieren als ein Fügen über eine bestimmte Länge auf eine genau bestimmte Position. Der Aufwand für die notwendige Messtechnik und Steuerung steigt an und damit auch der Aufwand für die Realisierung eines automatisierten Montageprozesses (KETTNER 1987).

- Vermeide Fügeprozesse, bei denen die Bauteile nach dem Prozess nicht gesichert sind

Ob ein Fügebauteil nach dem Fügeprozess in das Basisbauteil gesichert ist, beeinflusst den Aufwand für die Realisierung eines automatisierten Montageprozesses. So ist das Bewegen von nur durch Reibung gesicherten Fügebauteilen mit höherem Aufwand verbunden, als das Bewegen von durch Kraft- und Formschluss gesicherten Bauteilen, da dabei die Gefahr besteht, dass das Fügebauteil verrutscht. Insbesondere kann ein Basisbauteil mit einem ungesicherten Fügebauteil nicht gewendet werden, um so eine andere Seite des Basisbauteils zugänglich zu machen [BOOTHROYD 1992, S. 262 f., HESSE 1993, S. 27].

- Versuche den Positionier- und Fügebereich gut zugänglich zu gestalten

Je schlechter die Zugänglichkeit der Bereiche ist, desto mehr Aufwand ist für einen sicheren Montageprozess notwendig. Es müssen eventuell Sonderwerkzeuge angefertigt werden oder die Handhabungseinrichtung benötigt entsprechende Zusatzachsen (ANDREASEN 1985, BOOTHROYD 1992).

2.4.5 Fazit

Alle untersuchten Methoden bzw. Regeln zur montagegerechten Produkt- und Bauteilgestaltung lassen in mindestens einem der unten aufgeführten Punkte Schwachstellen erkennen:

- Die Ableitung von Kennwerten oder Zeiten die den Montageaufwand beschreiben erfolgt aus Gerätekenngößen, die bei der Produktkonstruktion nicht vorliegen.
- Eine Aussage bzgl. der Flexibilitätsanforderungen der Produkte ist nicht möglich.

- Eine Generierung von Aussagen über den Aufwand und die Wirtschaftlichkeit einer automatisierten Montage ist nicht möglich, da wichtige Punkte, wie beispielsweise die Stückzahl eines Produktes nicht berücksichtigt werden. Die Methoden zielen unter Nutzung entsprechender Regeln auf eine montage-technische Optimierung der Produktkonstruktion ab.
- Es erfolgt keine Priorisierung der verschiedenen Regeln für die montage-rechte Produkt- und Bauteilgestaltung. Weiterhin passen die jeweiligen Beispiele zu den entsprechenden Regeln nicht immer zum betrachteten Produkt bzw. Bauteil.

2.5 Bei der Montagesystemplanung eingesetzte Bewertungsmethoden

Im Folgenden Abschnitt werden unterschiedliche Bewertungsmethoden vorgestellt. Zum einen die Nutzwertanalyse, die auch eine Berücksichtigung von monetär nicht oder nur schwer quantifizierbaren Zielen erlaubt, zum anderen die statischen und dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung, die nur monetär quantifizierbare Größen berücksichtigen. Die Bewertungsmethoden werden bei der Montagesystemplanung von verschiedenen Autoren zur Bewertung von Alternativen eingesetzt.

2.5.1 Nutzwertanalyse

Bei komplexen Fragestellungen, wie sie beispielsweise bei der Montagesystemplanung auftreten, ist es in der Regel nicht mehr möglich, die Bewertung alternativer Lösungen anhand nur eines Kriteriums (z.B. Wirtschaftlichkeit) vorzunehmen. Vielmehr müssen hierbei mehrere, sich vielleicht sogar teilweise widersprechende Zielsetzungen berücksichtigt werden. Der Vorteil der Nutzwertanalyse liegt in der Berücksichtigung aller aufgestellten Kriterien. Damit ist eine Abwägung in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht möglich. Für die Bestimmung des Nutzwertes werden nur Kann-Kriterien betrachtet, da jede Alternative die die Muss-Kriterien nicht erfüllt von vorneherein aus der Betrachtung ausscheidet [ZANGEMEISTER 1976, BREIING 1989, GÖTZE & BLOECH 1995, HARTEL 1997, SCHNEIDER 1999, EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 9-27 f.].

Eine Nutzwertanalyse hat den in Abbildung 2.3 dargestellten Ablauf:

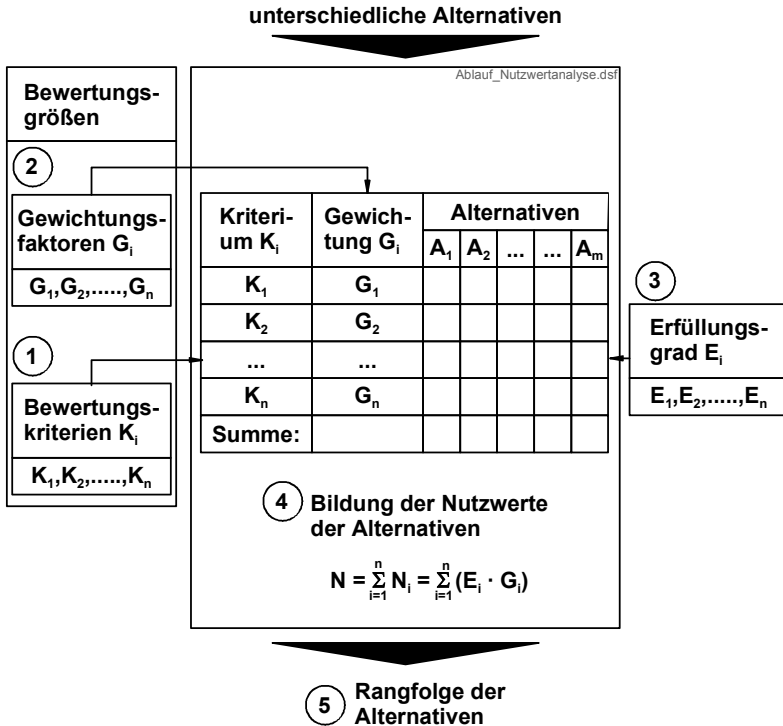


Abbildung 2.3. Ablauf der Nutzwertanalyse (nach Eversheim & Schuh 1996)

1 Bestimmung von Kriterien K_i

Um die vorliegenden Varianten eines Montagesystems mit Hilfe der Nutzwertanalyse bewerten zu können, müssen in einem ersten Schritt Kriterien bestimmt werden, wobei deren Unabhängigkeit sichergestellt sein sollte, um eine Mehrfacherfassung zu vermeiden [REFA 1990, S. 102]. In Verbindung damit ist die Nutzenunabhängigkeit aller Kriterien zu gewährleisten. Diese ist gegeben, wenn die Erfüllung eines Kriteriums möglich ist, ohne dass dies die Erfüllung eines anderen Kriteriums voraussetzt.

2 Gewichtung der Kriterien

Da den verschiedenen Kriterien im Hinblick auf die Erfüllung der Gesamtzielsetzung eines Planungsprojektes unterschiedliche Bedeutung zukommt, werden sie in Abhängigkeit von den verfolgten Zielen gewichtet, wobei der Gewichtungsfaktor die Bedeutung der Kriterien untereinander darstellt. Die Summe aller Kriteriengewichte G_i sollte zweckmäßigerweise den Wert 100 ergeben (Normierung).

Eine Methode die Gewichtungsfaktoren systematisch festzulegen, ist der paarweise Vergleich. Dabei werde alle Kriterien jeweils einmal einzeln gegeneinander gewichtet. Es ist jeweils festzustellen, ob das Kriterium K_i wichtiger als, gleich wichtig wie oder weniger wichtig als das Kriterium K_{i+1} ist. Durch die Auswertung der Matrix ergeben sich die Gewichtungsfaktoren G_i , durch die eine Rangreihe der Wichtigkeit der Kriterien erstellt wird. Durch Normierung werden dann die Gewichtungsfaktoren G_i ermittelt, die für die Nutzwertanalyse verwendet werden können [EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 9-48].

Da mit der Gewichtung der Kriterien eine entscheidende Weichenstellung für die folgenden Planungsstufen vorgenommen wird, ist zu empfehlen, dass der Auftraggeber der Planung oder die Entscheidungsträger diesen Planungsschritt durchführen [REFA 1990, S. 102].

3 Bestimmung des Erfüllungsgrades

Der dritte Schritt der Nutzwertanalyse besteht in der Festlegung der Erfüllungsgrade E_i , die den verschiedenen Kriterien K_i zugewiesen werden. Um einen nachvollziehbaren Bewertungsablauf zu erzielen, werden für die einzelnen Kriterien Wertebereiche festgelegt, die einerseits ausreichend differenziert, andererseits aber auch ausreichend transparent sind [EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 9-46 ff.].

4 Nutzwertermittlung

Die Bewertung einer Alternative A_i erfolgt durch die Ermittlung ihres Gesamtnutzwertes N . Dieser wird durch die Summierung der Teilnutzwerte N_i der Alternative A_i bestimmt. Die Teilnutzwerte N_i für die Kriterien K_i werden durch Multiplikation des Erfüllungsgrades E_i mit dem Gewichtungsfaktor G_i ermittelt.

$$N = \sum_i N_i = \sum_i (E_i \cdot G_i)$$

Gleichung 2-2: Bestimmung des Gesamtnutzwertes

5 Interpretation der Nutzwerte

Die Gesamtnutzwerte der verschiedenen Alternativen ermöglichen die Rangfolge der Eignung festzustellen. Ein Objekt ist absolut vorteilhaft, wenn sein Nutzwert größer ist als ein vorzugebender Grenzwert. Relativ vorteilhaft ist ein Objekt dann, wenn sein Nutzwert größer ist, als der eines jeden anderen zur Wahl stehenden Objektes [GÖTZE & BLOECH 1995].

Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass ein subjektiver Einfluss beim Aufstellen der Kriterienhierarchie sowie bei der Gewichtung und Punktebewertung gegeben ist.

Aufgrund der Zusammenfassung von gewichteten Teilnutzwerten können ungünstige Ausprägungen bezüglich einzelner Zielgrößen kompensiert werden. Deshalb ist bei der Interpretation der Bewertungsergebnisse zu berücksichtigen, dass Varianten mit hoher Wertzahl, aber mit einer ausgesprochenen Schwachstelle (unausgeglichenes Werteprofil wegen stark unterschiedlicher Teilnutzwerte) eine nicht vorhandene Qualität vortäuschen können. In solchen Fällen kann es günstiger sein, frühzeitig eine Variante mit ausgeglichenem Werteprofil auszuwählen, auch wenn diese in der Wertzahl zurückliegt [EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 7-53]. Liegen bezüglich bestimmter Kriterien Mindestanforderungen vor (z.B. zulässiger Flächenbedarf für ein Montagesystem), so ist deren Erfüllung durch Bestimmung der Werte außerhalb der Nutzwertanalyse zu prüfen [GÖTZE & BLOECH 1995].

2.5.2 Investitionsrechnung

Im Rahmen der Montagesystemplanung werden viele Entscheidungen auf Basis einer Investitionsrechnung getroffen. Deshalb werden hier die bekannten Verfahren der Investitionsrechnung vorgestellt (Abbildung 2.4).

Verfahren zur Vorkalkulation der Montagekosten [s. z.B. BULLINGER 1986, S. 80] berücksichtigen die Art der Ausführung von Montageprozessen nicht und werden daher im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

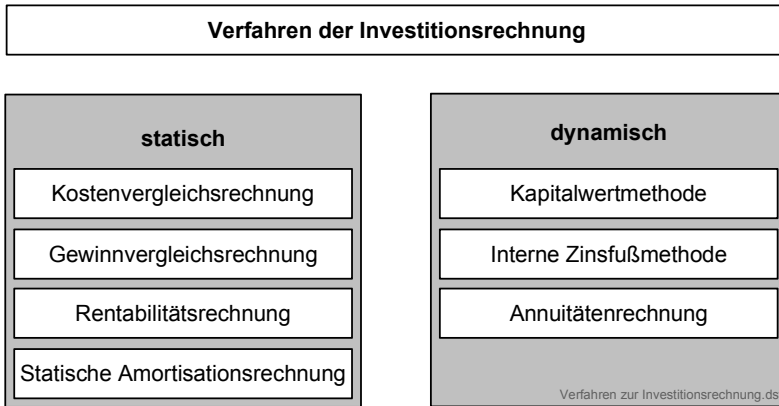


Abbildung 2.4: Einteilung der Verfahren zur Investitionsrechnung

2.5.2.1 Statische Verfahren

Bei den statischen Verfahren der Investitionsrechnung wird die Verteilung der Ausgaben und Einnahmen einer Investition über einen vorgegebenen Zeitraum nicht berücksichtigt. Es werden Durchschnittswerte angenommen, die meist aus den bekannten bzw. geschätzten Zahlen der Kalkulationsperiode hergeleitet und auf die Folgeperioden übertragen werden [BULLINGER 1986, S. 76; GÖTZE & BLOECH 1995, S. 52]. Die vier sich unterscheidenden Verfahren der statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung werden im Folgenden vorgestellt.

Kostenvergleichsrechnung

Bei der Kostenvergleichsrechnung werden die Kosten von zwei oder mehr alternativen Arbeitssystemen ermittelt und gegenübergestellt, um so die kostengünstigste Alternative zu ermitteln [BULLINGER 1986, S. 76; EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 18-70; GÖTZE & BLOECH 1995, S. 54 ff.].

Eine Möglichkeit zur Bestimmung der Kosten von Arbeitssystemen ist die Anwendung der Maschinenstundensatzrechnung (VDI-Richtlinie 3258, WARNECKE U. A. 1993). Der Maschinenstundensatz ergibt sich aus der Summe der einzelnen Kosten für die Funktionsträger eines Systems und der personalabhängigen Kosten geteilt durch die Nutzungsdauer des Systems.

$$K_{MH} = \frac{K_A + K_Z + K_R + K_E + K_I}{T_N} + K_P$$

mit:

K_A = kalkulatorische Abschreibungen

K_Z = kalkulatorische Zinskosten

K_R = Raumkosten

K_E = Energiekosten

K_I = Instandhaltungskosten

K_P = personalabhängige Kosten

Gleichung 2-3: Berechnung des Maschinenstundensatzes

Gewinnvergleichsrechnung

Die Gewinnvergleichsrechnung zielt darauf ab, den erzielbaren Gewinn von zwei oder mehr alternativen Arbeitssystemen zu bestimmen und zu vergleichen, um so die günstigste Alternative zu bestimmen. Die Gewinnvergleichsrechnung ist für den Einsatz im Rahmen der Montageplanung nicht geeignet, da sich der Gewinn aus Ertrag und Aufwand zusammensetzt. Die Erträge können jedoch von einem Arbeitssystem nicht erkennbar beeinflusst werden, so dass auch bei verschiedenen Arbeitssystemen von gleichen Erträgen ausgegangen werden muss. Die Variablen dieses Verfahrens sind somit nur die Aufwendungen, was im Grunde einer Kostenvergleichsrechnung gleichkommt [BULLINGER 1986, S. 77; GÖTZE & BLOECH 1995, S. 60 ff.].

Rentabilitätsrechnung

Bei der Rentabilitätsrechnung wird ermittelt, welches Investitionsobjekt die höchste Rentabilität aufweist. Unter Rentabilität wird dabei das Verhältnis von erzieltem Gewinn (bzw. Kostenersparnis) zum investierten Kapital verstanden. Es wird dabei festgestellt, ob die Verzinsung des Kapitaleinsatzes die Kapitalkosten deckt [GÖTZE & BLOECH 1995, S. 63 ff.].

Amortisationsrechnung

Mit Hilfe der Amortisationsrechnung wird der Zeitraum ermittelt, in dem der Kapitaleinsatz für eine Investition wieder in das Unternehmen zurückfließt. Bei der Bestimmung der Amortisationszeit wird davon ausgegangen, dass die Gewinne plus die kalkulatorischen Abschreibungen bzw. die Kostenersparnis plus kalkulatorische Abschreibung ausschließlich der Wiedergewinnung des Kapitaleinsatzes dienen. Im Rahmen der Amortisationsrechnung wird meist unterstellt, dass die Gewinne und die Abschreibungen pro Periode konstant sind. Die Amortisationszeit wird ermittelt anhand des Kapitaleinsatzes dividiert durch den Kapitalrückfluss bzw., bei der Gegenüberstellung von zwei Investitionen, durch die Differenz des Kapitaleinsatzes dividiert durch die Kosteneinsparung. Je kürzer die Amortisationszeit, desto geringer ist das Risiko einer Investition. Da bei der Amortisationsrechnung keine Aussage über den Gewinn aus einer Investition möglich ist, sollte sie auf keinen Fall als alleiniges Beurteilungsverfahren herangezogen werden [BULLINGER 1986, S. 77; GÖTZE & BLOECH 1995, S. 66ff.].

2.5.2.2 Dynamische Verfahren

Bei den dynamischen Verfahren werden durch die Diskontierung (Abzinsung) die zeitlichen Schwankungen der Kosten und Erträge einer Investition berücksichtigt. Eine Einnahme aus der Investition, die im ersten Jahr anfällt, wird somit höher bewertet als eine Einnahme im letzten Jahr der Investition, weil die Einnahmen des ersten Jahres durch die Möglichkeit einer Reinvestition einen höheren Zinsertrag erwirtschaften als die des letzten. Je weiter der Zahlungsbetrag in der Zukunft liegt, desto mehr wirkt sich die Abzinsung aus. Den Diskontsatz bezeichnet man dabei als Kalkulationszinsfuß. Die bekanntesten Verfahren der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung sind die Kapitalwertmethode und die Zinsfußmethode. Da die dynamischen Verfahren im Gegensatz zu den statischen den Verlauf der Ausgaben und Einnahmen über die Zeit erfassen, eignen sich

besser zur Beurteilung riskanter und unsicherer Investitionsentscheidungen [BULLINGER 1986, S. 79 f; GÖTZE & BLOECH 1995, S. 69 ff.].

Kapitalwertmethode

Bei der Kapitalwertmethode werden alle Einnahmen und Ausgaben, die im Zusammenhang mit einer Investition anfallen, auf einen einheitlichen Zeitpunkt (meist Investitionsbeginn) auf- bzw. abgezinst.

Den Kapitalwert (KW) einer Investition erhält man, indem man den Barwert aller Nettoeinnahmen (=Differenz Einnahmen minus Ausgaben pro Periode) bildet. Die Größe des Kapitalwertes ist abhängig von dem gewählten Zinssatz, der Höhe der Einnahmen und Ausgaben und der zeitlichen Verteilung der Einnahmen und Ausgaben.

$$KW = \sum_{t=0}^T (e_t - a_t) \cdot q^{-t}$$

mit:

t = Zeitindex

T = letzter Zeitpunkt zu dem Zahlungen anfallen

e_t = Einzahlungen zum Zeitpunkt t

a_t = Auszahlungen zum Zeitpunkt t

q^{-t} = Abzinsungsfaktor für den Zeitpunkt t

q = Zinssatz

Gleichung 2-4: Berechnung des Kapitalwertes

Berührt die Investition den Absatz der Erzeugnisse nicht, so berechnet man die Vorteilhaftigkeit anhand der Betriebsaufwendungen vor und nach der Realisierung bzw., bei der Entscheidung zwischen zwei Objekten, anhand der verschiedenen Höhen der Aufwendungen. Für die Vorteilhaftigkeit einer Investition spricht, wenn der Kapitalwert größer oder gleich Null ist. Eine Investition mit einem Kapitalwert Null amortisiert sich aus den Kapitalrückflüssen und erzielt eine effektive Verzinsung, die dem kalkulatorischen Zinssatz entspricht. Eine Investition mit einem Kapitalwert größer als Null erzielt neben der Rückgewinnung des eingesetzten Kapitals eine effektive Verzinsung, die über dem kalkula

torischen Zinssatz liegt. Die Investition erbringt also über die Amortisation und die kalkulatorischen Zinsen einen Gewinn [GÖTZE & BLOECH 1995, S. 73 ff.].

Interne Zinsfußmethode

Voraussetzung für die Ermittlung des internen Zinsfußes ist die Kapitalwertmethode. Der interne Zinsfuß gibt die Rendite der Investition unter Berücksichtigung der Zinseszinsen an. Bei dieser Methode sucht man also den Diskontierungszinsfuß, der zu einem Kapitalwert von Null führt, d.h. bei dem der Barwert der Ein- und Auszahlungen gleich Null ist [GÖTZE & BLOECH 1995; S. 91 ff.].

Durch Vergleich des internen Zinsfußes mit dem kalkulatorischen Zinssatz kann die Rendite der Investition beurteilt werden. Eine Investition bei der die Auszahlungen im wesentlichen vor den Einzahlungen erfolgen, ist dann zweckmäßig, wenn ihr interner Zinsfuß größer oder gleich dem kalkulatorischen Zinsfuß ist. Bei alternativen Investitionsprojekten ist das Projekt vorzuziehen, das den höheren internen Zinsfuß erbringt.

Annuitätenmethode

Die Annuitätenmethode geht vom gleichen Modell aus, wie die Kapitalwertmethode und liefert auch die gleichen Ergebnisse. Annuitäten und Kapitalwert können ineinander übergeführt werden. Da der Kapitalwert wie bei der Methode des internen Zinsfußes eine Grundlage für die Annuitätenmethode darstellt, ist diese mit einem höheren Aufwand verbunden als die Kapitalwertmethode [GÖTZE & BLOECH 1995, S. 88 ff.; BICK 1991, S. 53 f.].

2.5.2.3 Bewertung der Verfahren zur Investitionsrechnung

Die Verfahren der statischen Investitionsrechnung haben den Vorteil, dass sie in bezug auf die durchzuführenden Berechnungen relativ einfach durchführbar sind. Es werden jedoch die unterschiedlichen Zeitpunkte der Ein- und Auszahlung nicht berücksichtigt.

Dynamische Verfahren berücksichtigen die zeitlichen Einflüsse von monetären Größen. Für sie spricht ihre höhere Genauigkeit, die aber voraussetzt, dass die Einnahmen- und Kostenentwicklung zukünftiger Perioden ausreichend genau vorhersehbar ist. Dadurch stellen diese Verfahren eine hohe Anforderung an die Zuverlässigkeit der Eingangsdaten.

Sowohl die statischen als auch die dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung benötigen Produkt-, Prozess- und Systeminformationen. Die Produktinformationen gehen über die Stückzahlen in die Berechnung ein, Prozess- und Systeminformationen beispielsweise über die Investitions-, Wartungs- sowie Zinskosten von Funktionsträgern oder über die Montagezeit. Der Aufwand zur Beschaffung dieser Informationen ist relativ hoch, da für die Auswahl von Funktionsträgern ein vergleichsweise hoher Detaillierungsgrad des Montagesystems erforderlich ist.

Die Verfahren der Investitionsrechnung ermöglichen eine Entscheidung über die wirtschaftliche Automatisierbarkeit auf der Basis quantifizierter Ergebnisse, nämlich der Kosten, und erlauben auch eine Aussage über die Automatisierbarkeit einzelner Teilfunktionen, sofern diese entsprechend detailliert vorliegen. Zur Durchführung einer Investitionsrechnung ist vergleichsweise wenig Erfahrungswissen notwendig (vgl. Tabelle 2.2).

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Investitionsrechnung	ja	spät	ja	ja	wenig

Tabelle 2.2: Bewertung der Verfahren der Investitionsrechnung

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

Im Folgenden werden ausgewählte Methoden der Montagesystemplanung analysiert und ermittelt, welche Vorgehensweisen die jeweiligen Autoren zur Bestimmung der Automatisierbarkeit der Montageprozesse zu welchen Zeitpunkten einsetzen.

2.6.1 Vorbemerkung

Alle für die Planung von Montagesystemen eingesetzten Methoden und Hilfsmittel müssen zwei Forderungen gleichzeitig gerecht werden: Zum einen soll der Zeit- und Personalaufwand für die Planung so gering wie möglich gehalten werden, zum anderen sollen die eingesetzten Planungshilfsmittel bereits in frühen Planungsstufen zuverlässige Aussagen über Kosten und Leistungsfähigkeit des zukünftigen Montagesystems als Basis für fundierte Investitionsentscheidungen erlauben [REFA 1990, S. 20]. Je früher eine notwendig gewordene Korrektur der Planungsvorgaben oder eine notwendige Änderung am Erzeugnis bzw. Einzelteil erfolgt, umso geringer sind die finanziellen und zeitlichen Verluste [KONOLD & REGER 1997, S. 25].

Je nach Auslöser für eine Montagesystemplanung sieht sich der Planer verschiedenen Ausgangssituationen mit jeweils unterschiedlichen Ausgangsdaten gegenüber. Die Gründe für den Anstoß einer Montageplanung können entweder produktbezogen oder produktionsbezogen sein [REFA 1990, S. 91]. Produktbezogene Faktoren sind die Modifikation einer bestehenden Produktpalette im Rahmen einer Modellpflege, veränderte Absatzerwartungen einzelner bestehender Produkte oder die Einführung eines neuen Produktes am Markt. Produktionsbezogene Faktoren können die Beseitigung bekannter Schwachstellen des bestehenden Produktionssystems, der Ersatz veralteter Betriebsmittel, die Einführung neuer Produktionstechnologien oder die Einhaltung gesetzlicher oder tarifvertraglicher Bestimmungen sein.

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Methoden zur Planung von Montagesystemen [BULLINGER 1986, KONOLD & REGER 1997, LOTTER 1986, GROB & HAFFNER 1982, BICK 1991, BOOTHROYD 1992, FELDMANN 1997, LÖHR 1977, METZGER 1977, REFA 1990, SCHUSTER 1992, VDI-Richtlinie 2221, VDI-Richtlinie 2222]. Diese Methoden unterscheiden sich durch den jeweiligen Planungshorizont, also durch die unterschiedlichen Zeitpunkte zu denen die Montagesystemplanung als beendet angesehen wird. Während einige Autoren bei der Planung auch die Realisierung und den Betrieb der Montagesysteme betrachten, sehen andere die Planung bereits mit der Erstellung des Lastenheftes als beendet an. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die unterschiedliche Detaillierung der einzelnen Planungsstufen. Einige Autoren beschränken sich nur auf die Organisation und die Struktur der Anlage, während andere Autoren eine Planung der Anlage bis auf Prozess- bzw. Betriebsmittelebene durchführen. Auch die Fokussierung der Planung auf bestimmte Objekte oder Bauteile mit bestimmten

Eigenschaften kann zur Unterscheidung verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung der bekannten Methoden zur Montagesystemplanung besteht darin, dass sich einige Autoren von vorneherein auf eine bestimmte Montageart festlegen [z.B. LÖHR 1977, SCHUSTER 1992].

Trotz der unterschiedlichen Betrachtungsumfänge der verschiedenen Autoren lässt sich jedoch eine prinzipielle Vorgehensweise herausarbeiten. Diese geht zunächst vom Groben ins Feine und mit zunehmender Planungsdauer steigt der Detaillierungsgrad des Montagesystems kontinuierlich an. Weiterhin ist allen Vorgehensweisen gemeinsam, dass sie zu jeweils definierten Zeitpunkten mit ggf. verschiedenen Methoden eine Bewertung und Auswahl aus den zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Planungsalternativen durchführen. Ferner können alle analysierten Vorgehensweisen für die unterschiedlichen Auslöser der Montagesystemplanung eingesetzt werden. Die neueren Methoden berücksichtigen zudem die Gedanken des „Concurrent“ bzw. „Simultaneous“ Engineering, die eine Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung vorsehen und dafür entsprechende Mechanismen für den Austausch der jeweils erforderlichen Informationen vorsehen [FELDMANN 1997, REINHART & DÜRRSCHMIDT 2000].

2.6.2 Beurteilung der Automatisierbarkeit nach BULLINGER

Eine ausführliche Richtlinie zur systematischen Montageplanung, die die Projektorganisation mit einschließt, wurde von BULLINGER (1986) entwickelt. Er beschreibt ein strukturiertes Vorgehen von Teilpunkt zu Teilpunkt entsprechend einer im jeweiligen Aufgabengebiet optimalen Reihenfolge. Feste Bestandteile der Methode sind regelmäßige Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Bewertungen der ermittelten Ergebnisse. Rücksprünge in vorangegangene Phasen wurden vorgesehen. Bullinger teilt sein Vorgehen zur Montageplanung in sieben Stufen ein (Abbildung 2.5). Für jede Stufe wird detailliert beschrieben, welche Teilaufgaben zu erledigen sind. Eine erste Montagekostenkalkulation wird im Anschluss an die Konzeptionsphase auf Basis der Methoden zur Vorkalkulation durchgeführt. Eine Bestimmung des Automatisierungsgrades anhand dieser Methoden ist nicht möglich.

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

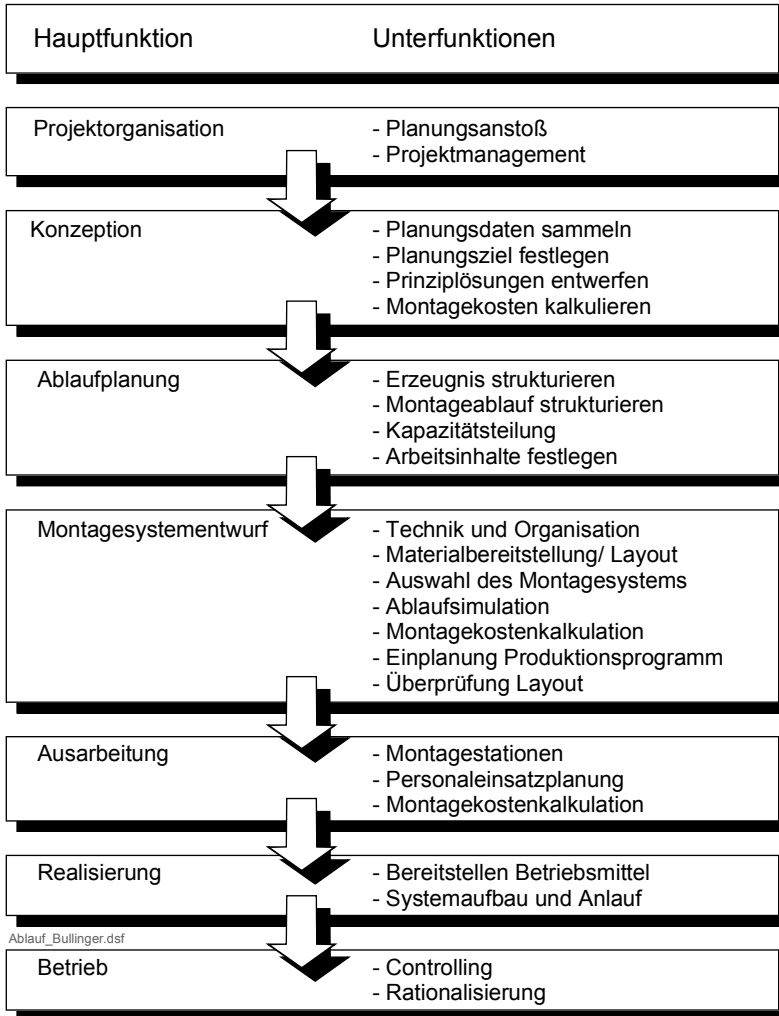


Abbildung 2.5: Montagesystemplanung nach BULLINGER (1986) (vereinfacht)

Im Rahmen der *Ablaufplanung* wird aufbauend auf der Erzeugnisstruktur die Montageablaufstruktur erarbeitet. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass für die Planung des Montagesystems die Bestimmung und Kennzeichnung von au

tomatisierbaren Teilverrichtungen neben der Angabe des Arbeitswertes¹ einer Teilverrichtung von besonderer Bedeutung ist [BULLINGER 1986, S. 116].

Für die Kennzeichnung von automatisierbaren Teilverrichtungen ist deren Prüfung auf Mechanisier- und Automatisierbarkeit notwendig. Hierfür nennt Bullinger Kriterien wie z.B. das Fügeverfahren (z.B. Schrauben, Nieten, Einlegen), die Montagelage des Erzeugnisses, die Zugänglichkeit der Fügestelle und das geordnete Bereitstellen der Einzelteile zur Fügestelle. Eine Vorgehensweise wie die Bestimmung der Automatisierbarkeit unter Berücksichtigung der angegebenen Kriterien erfolgen kann, wird nicht angegeben.

Nach der Kennzeichnung automatisierbarer Teilverrichtungen ist zu überprüfen, ob sich die Montage eines Produktes in Abschnitte gliedern lässt, in denen ausschließlich automatisiert, teilweise automatisiert oder manuell montiert werden kann [BULLINGER 1986, S. 122].

Dass der Detaillierungsgrad des Montagesystems in dieser Phase der *Ablaufplanung* noch nicht ausreicht, um den Automatisierungsgrad auf Basis einer Investitions- bzw. Wirtschaftlichkeitsrechnung zu bestimmen, zeigt sich auch daran, dass BULLINGER (1986) diese erst im Anschluss an den Montagesystementwurf, also zu einem deutlich späteren Zeitpunkt, durchführt. Bis zu diesem Zeitpunkt müssen alle sinnvollen Systemalternativen bei der Planung berücksichtigt und weiter detailliert werden. Stellt sich bei der Bewertung mit Hilfe der Investitionsrechnung heraus, dass bei ursprünglich zu automatisierten Blöcken zusammengefassten Teilverrichtungen eine nicht wirtschaftlich automatisiert werden kann, so ist ein Teil der Planungsarbeit bis zu diesem Zeitpunkt unnötig gewesen und es müssen andere Systemalternativen zusätzlich erstellt oder vorhandene modifiziert werden. Eine Änderung der Systemstruktur ist aufgrund der fortgeschrittenen Planung mit einem hohen Aufwand verbunden.

Im Abschnitt *Ausarbeitung* erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Ausarbeitung automatischer Montagestationen. Dabei wird auch eine Checkliste zur Beurteilung der Handhabbarkeit vorgestellt [BULLINGER 1986, S. 294]. Diese Checkliste beinhaltet keine Vorgehensweise zur Generierung einer Aussage ob eine automatische Handhabung möglich ist. Die Entscheidung bzgl. der Möglichkeit einer (teil-)automatisierten Handhabung basiert nicht auf quantifizierten

¹ Der Arbeitswert gibt die Schwierigkeit einer Teilverrichtung an und ermöglicht eine Zuordnung der Teilverrichtung zu einer entsprechenden Lohngruppe.

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

Informationen. Die von Bullinger neben der Investitionsrechnung eingesetzten Verfahren zur Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen lassen sich wie folgt bewerten (Tabelle 2.4).

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Bullinger	ja	mittel	nein	bedingt	viel

Tabelle 2.3: Bewertung der Methoden zur Bestimmung der Automatisierbarkeit nach BULLINGER 1986

2.6.3 Beurteilung der Automatisierbarkeit nach KONOLD & REGER

KONOLD & REGER (1997) stellen in ihrer Arbeit einen Planungsablauf vor, der sich an firmeninternen Abläufen der Fa. Bosch orientiert. Er gliedert sich in die fünf Schritte Aufgabenstellung, Grobplanung, Feinplanung, Realisierung und Fertigungsanlauf (Abbildung 2.6). Besondere Beachtung verdient dabei der Abschnitt der Grobplanung, da hier die wesentlichen Grundlagen zur Strukturierung des Montagesystems gelegt werden.

Im Abschnitt *Grobplanung*, Schritt 2, *Arbeitsabläufe festlegen und die Montagestruktur entwickeln*, ist die Entwicklung und Festlegung der gesamten Struktur des Montagesystems vorgesehen. Voraussetzung hierfür ist die genaue Kenntnis aller Teilverrichtungen, die zur Montage eines Erzeugnisses benötigt werden sowie ihre zeitliche Reihenfolge. Zu diesem Zweck schlagen KONOLD & REGER (1997) einen Montagevorranggraphen vor, in den neben der Automatisierbarkeit auch die Vorgabezeiten eingetragen werden, so dass man einen ersten Überblick über die logische Struktur der Montageaufgabe erhält. Wie die Automatisierbarkeit der einzelnen Montageprozesse beurteilt und die Vorgabezeit bestimmt werden kann wird nicht erwähnt.

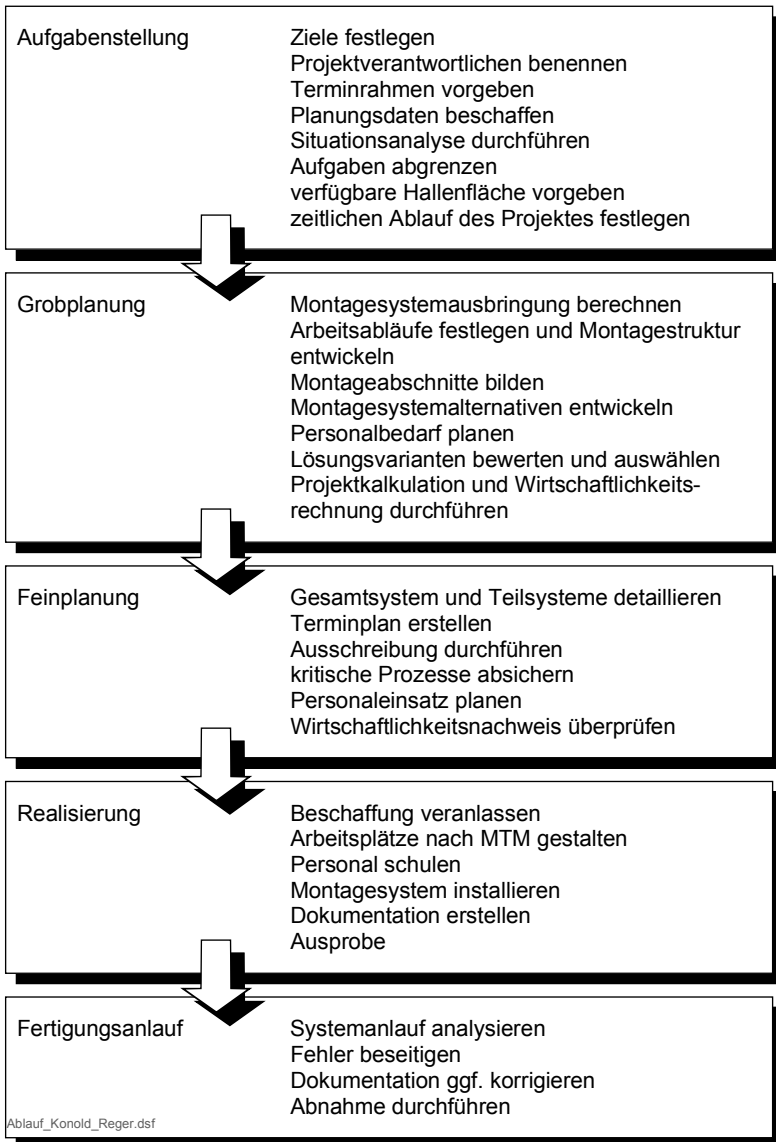


Abbildung 2.6: Montagesystemplanung nach KONOLD & REGER (1997)

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

Im Planungsschritt *Montagesystem-Alternativen entwickeln* (Schritt 4 der *Grobplanung*) werden verschiedene Kriterien, wie z.B. Stückzahlen oder Laufzeit² des Erzeugnisses, anhand von ja/nein Entscheidungen bewertet. Auch die Frage nach der Schwierigkeit der Montage- und Handhabungsvorgänge wird gestellt. Eine Vorgehensweise zur Beantwortung dieser Frage wird jedoch nicht vorgestellt. Abhängig von der Ja- oder Nein-Entscheidung bei den o.g. Kriterien ergeben sich vier Arten von Montagesystemen.

- Manuelle Montage, Erzeugnisweitergabe von Hand
- Manuelle Montage, Erzeugnisweitergabe automatisiert mit Werkstückträger (WT)
- Mischform, verkettete Montagesysteme mit manuellen und automatisierten Arbeitsgängen und automatisiertem Werkstücktransport auf WT
- Automatisierte Montage mit loser oder starrer Verkettung der einzelnen Stationen oder Kombinationen aus beiden Verkettungsarten

Mit dieser Art der Vorauswahl eines Montagesystems erhält man lediglich eine Groborientierung, ob ein manuelles, ein teilautomatisiertes oder ein automatisiertes Montagesystem die Zielvorgaben am besten erfüllt. Eine Aussage für einzelne Montageprozesse lässt sich nur bedingt ableiten.

Zur Bewertung und Auswahl der alternativen Lösungen zum Ende der Grobplanungsphase schlagen KONOLD & REGER (1997) ein Team kompetenter Mitarbeiter aus verschiedenen Bereichen der Produktion vor. Als Alternative dazu wird die sog. Arbeitssystemwert-Ermittlung genannt. Der Arbeitssystemwert wird mit Hilfe einer Nutzwertanalyse (vgl. Kapitel 2.5.1) bestimmt. Für eine endgültige Entscheidung verweisen die Autoren jedoch auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung.

Zusammenfassend lässt sich über die Verfahren anhand derer Konold & Reger (1997) die Automatisierbarkeit beurteilen folgende Aussage machen (Tabelle 2.4).

² Unter der Laufzeit wird hier die Länge des Produktlebenszyklus verstanden.

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Konold & Reger	ja	mittel	nein	nein	viel

Tabelle 2.4: Bewertung der Vorgehensweise zur Bestimmung der Automatisierbarkeit nach KONOLD & REGER (1997)

2.6.4 Beurteilung der Automatisierbarkeit nach LOTTER

LOTTER (1986) hat eine praxisbezogene Planungsmethode für das Gebiet der Feinwerktechnik ausgearbeitet. Er betont, dass es sich um keine allgemeingültige Planungsmethode handelt, da unterschiedliche Produkte auch unterschiedliche Vorgehensweisen erfordern.

Nach LOTTER (1986) wird ausgehend von der Anforderungsliste das Produkt hinsichtlich seiner Montagegerechtheit analysiert. Die Montageablaufanalyse ermittelt die entsprechend der Produktgeometrien geltenden Vorrangbeziehungen und leitet daraus die Fügerangfolgen ab. Liegt der Montageablauf fest, wird im Rahmen einer Funktionsanalyse das funktionale Umsetzungskonzept ermittelt. Die folgenden Planungsphasen dienen der Zeitermittlung, der Layoutplanung und der Bestimmung des Personalbedarfes. Danach erfolgt die Ermittlung der Verfügbarkeit. Hierbei werden Kriterien wie Bauteilqualität oder Anzahl und Einzelverfügbarkeit der Stationen berücksichtigt. Eine sich anschließende Investitions- und Platzkostenrechnung zeigt die Wirtschaftlichkeit der ausgearbeiteten Varianten auf und gibt Aufschluss über die optimale Lösung.

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

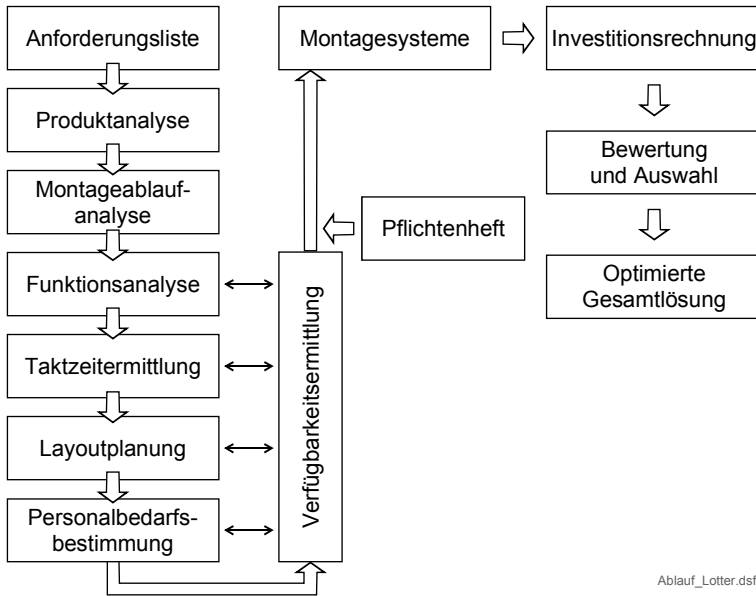


Abbildung 2.7: Montagesystemplanung nach LOTTER (vereinfacht)

Eine wesentliche Methode, anhand derer LOTTER (1986) die Möglichkeit einer Automatisierung der Montageabläufe beurteilt ist die montageerweiterte ABC-Analyse. Der Grundgedanke bei dieser Analyse lässt sich in folgender Frage ausdrücken: *Was kostet ein Bauteil bzw. eine Baugruppe, bis die erforderliche Funktion nach erfolgter Montage erreicht ist?*

Für die Beantwortung dieser Frage sind sieben Grundsatzfragen zu beantworten:

- Preis bzw. Herstellkosten der Einzelteile
- Anlieferungszustand der Einzelteile
- Handhabungsfähigkeit
- Fügerichtung und Fügefähigkeit
- Fügeverfahren
- Qualität der Bauteile
- Montagekosten

Die Herausforderung bei dieser Methode liegt jedoch darin, dass man im allgemeinen nicht genau weiß, mit welchen Funktionsträgern ein Bauteil verbaut werden soll und somit eine genaue Bestimmung von Systemmerkmalen wie Anlieferungszustand, Fügerichtungen oder Kosten der Funktionsträger zu einem frühen Zeitpunkt nicht möglich ist. Die montageerweiterte ABC-Analyse lässt sich folgendermaßen bewerten (Tabelle 2.5).

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Lotter	ja	mittel	bedingt	bedingt	viel

Tabelle 2.5: Bewertung der montageerweiterten ABC-Analyse zur Beurteilung der Automatisierbarkeit nach LOTTER (1986)

2.6.5 Beurteilung der Automatisierbarkeit nach GROB UND HAFFNER

Anfang der achtziger Jahre wurde bei Siemens von GROB UND HAFFNER (1984) eine Planungssystematik zur Gestaltung von Arbeitssystemen entwickelt. Aufbauend auf der in zahlreichen Planungsprozessen gewonnenen Erfahrung in der Projektarbeit wurde eine Unterteilung des Planungsprozesses in bestimmte Einzelschritte vorgenommen. Das Ergebnis ist ein detaillierter Planungsablauf, der ein strukturiertes Vorgehen von Teilpunkt zu Teilpunkt vorschreibt (Abbildung 2.8). Dabei wird zunächst die Ist-Situation hinsichtlich Schwachstellen analysiert. Im nächsten Schritt werden die mit dem zu planenden Arbeitssystem verfolgten Ziele festgelegt, die Aufgabenstellung formuliert und relevante monetär schwer quantifizierbare Systemkriterien (z.B. Flexibilität bezüglich Typenvielfalt) bestimmt. Im Anschluss werden Lösungsalternativen ermittelt und einer Bewertung unterzogen. Nach der Entscheidung für eine Variante wird diese realisiert und einer Erfolgskontrolle unterzogen.

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

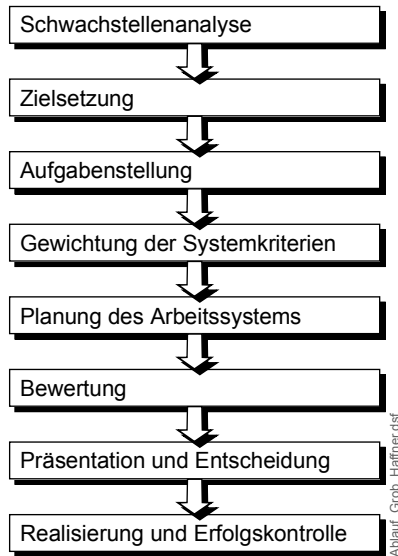


Abbildung 2.8: Ablauf der Montagesystemplanung nach GROB & HAFFNER (1982)

Die Abschätzung der Automatisierbarkeit wird von GROB & HAFFNER (1982) erwähnt und es wird vorgeschlagen, hierfür ein Team aus Fachleuten verschiedener Disziplinen (z.B. Rationalisierungsingenieur, Fertigungsplaner, Betriebsmittelkonstrukteur, Erzeugniskonstrukteur, Montageleiter, Montagemeister) einzusetzen. Diese Vorgehensweise hat den Nachteil, dass die Entscheidung im Team für Außenstehende nicht nachvollziehbar ist. Zudem kann die Entscheidung im Team von einzelnen Personen dominiert werden, die nicht notwendigerweise die Erfahrungen und Ergebnisse berücksichtigen, die während der Produktanalyse generiert wurden. Eine gewisse Dokumentation der Entscheidung wird durch den Eintrag des Ergebnisses in den Montagevorranggraphen erreicht. Eine zusammenfassende Bewertung der Methode zur Bestimmung der Automatisierbarkeit von Grob & Haffner (1983) zeigt Tabelle 2.6.

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Grob & Haffner	nein	mittel	nein	ja	viel

Tabelle 2.6: Bewertung der Vorgehensweise zur Bestimmung der Automatisierbarkeit nach GROB & HAFFNER (1982)

2.6.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit nach BICK

BICK (1991) betrachtet in seiner Arbeit die Planung hybrider Montagesysteme. Die von ihm entwickelte Methodik teilt sich in die drei Stufen Vorbereitungsphase, Ermittlung von Prozesssystemen sowie Synthese von Teilsystemen auf (Abbildung 2.9).

In der zweiten Phase der Planung wird die Bestimmung des optimalen Automatisierungsgrades betrachtet. Hierfür generiert BICK (1991) zwei verschiedene Aussagen. Zum einen ist das die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit durch einen Vergleich der Kosten für eine manuelle Realisierung mit den Mindestkosten eines automatisierten Montagesystems. Für die Bestimmung der Kosten für ein manuelles sowie ein automatisiertes Montagesystem schlägt BICK (1991) eine entsprechende Vorgehensweise vor. Zum anderen betrachtet er technische K.O.-Kriterien, wie z.B. das Fehlen geeigneter Greifmöglichkeiten. Eine Aussage über einen Schwellwert, ab dem das technische K.O. Kriterium erfüllt ist sowie eine Vorgehensweise zur Bewertung ist in dieser Arbeit jedoch nicht enthalten.

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

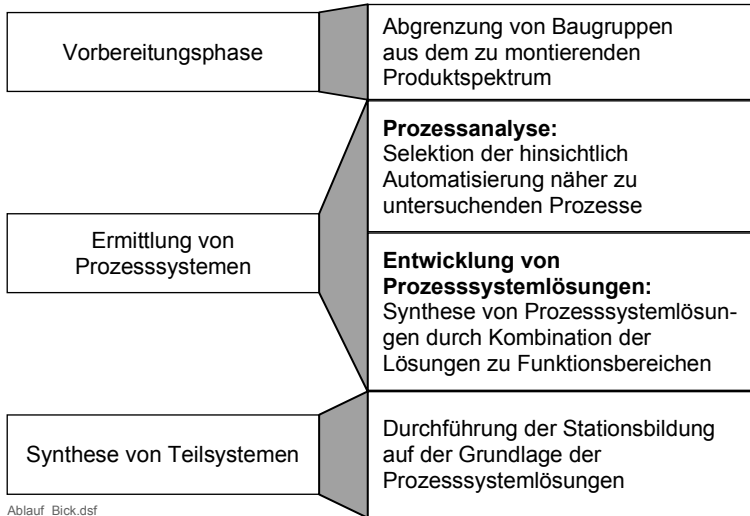


Abbildung 2.9: Ablauf der Montagesystemplanung nach BICK (1991)

Eine zusammenfassende Bewertung der Vorgehensweisen, die BICK (1991) bei der Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen einsetzt ist in Tabelle 2.7 aufgeführt.

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Bick	ja	mittel	ja	nein	mittel

Tabelle 2.7: Bewertung der Vorgehensweisen zur Bestimmung der Automatisierbarkeit nach BICK (1991)

2.6.7 Beurteilung der Automatisierbarkeit nach BOOTHROYD

BOOTHROYD (1992) beurteilt die Automatisierbarkeit von Montageprozessen auf Basis einer *Machbarkeitsstudie*. In diese Studie müssen alle in der Vergangenheit bereits gemachten Erfahrungen einfließen, um die Aussagen über das Montagesystem so genau wie möglich zu machen. Ziel dieser Studie ist es, die Leistung und die Wirtschaftlichkeit eines automatisierten Systems zu bestimmen.

Die Machbarkeitsstudie läuft in den folgenden fünf Schritten ab (Abbildung 2.10).

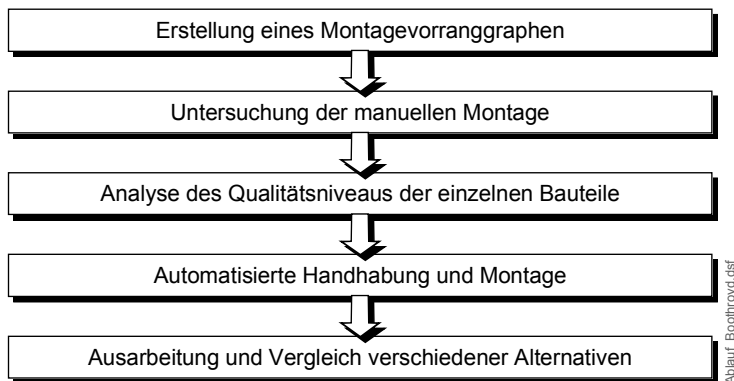


Abbildung 2.10: Montagesystemplanung nach BOOTHROYD (1992)

Zunächst wird das Produkt analysiert und mit Hilfe eines Vorranggraphen entsprechende Baugruppen und Montageabläufe identifiziert. Für jede sich ergebende Baugruppe erfolgt eine eigene Machbarkeitsstudie. Die daran anschließende Untersuchung der manuellen Montage hat zwei wesentliche Ziele. Zum einen sollen Informationen über die manuelle Handhabung und Montage von Bauteilen generiert werden, bei denen sich später eine automatisierte Montage als nicht sinnvoll erweist. Zum anderen soll eine Vergleichsmöglichkeit für die wirtschaftliche Rechtfertigung einer Investition gegeben werden. Da die Verfügbarkeit von Montageautomaten in hohem Maße vom Qualitätsniveau der Bauteile abhängt wird dieses im dritten Schritt untersucht. Im vierten Schritt erfolgt eine Abschätzung über die Schwierigkeit der automatisierten Bauteilhandhabung und -montage. Den Abschluss bildet die Ausarbeitung verschiedener Möglichkeiten zur automatisierten bzw. teilautomatisierten Montage sowie die Bestimmung der

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

voraussichtlichen Stückkosten anhand von dokumentierten Erfahrungen und Analysen. Die Auswahl des geeigneten Montagesystems erfolgt auf der Basis der Montagekosten pro Stück.

Die Machbarkeitsstudie nach BOOTHROYD (1992) erlaubt eine Aussage über die voraussichtlichen Investitionen, aber nicht über den Zeitraum bis zur Amortisation. Monetär nicht quantifizierbare Aspekte, wie beispielsweise Flexibilität des Montagesystems, werden nicht betrachtet. Die Machbarkeitsstudie verursacht einen hohen Aufwand, um Informationen über die Automatisierbarkeit zu erhalten. Eine zusammenfassende Bewertung der Machbarkeitsstudie ist in Tabelle 2.8 dargestellt.

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Boothroyd	ja	spät	ja	ja	viel

Tabelle 2.8: Bewertung der Machbarkeitsstudie nach BOOTHROYD (1992)

2.6.8 Beurteilung der Automatisierbarkeit nach PRELAZ

Die Vorgehensweise zur Beurteilung der Automatisierbarkeit nach PRELAZ (1985) ist in Abbildung 2.11 dargestellt.

Im ersten Schritt untergliedert PRELAZ (1985) den Montagablauf in einzelne Montageprozesse. Diese setzen sich wiederum aus den Operationen *Handhabung, Fügen, Kontrolle* sowie *Zubringen und Orientieren* zusammen.

Für die Bewertung der Montageprozesse werden drei verschiedene Kennzahlen generiert. Dies sind die Komplexitätszahl, der Flexibilitätsindex sowie der Assembly-Faktor.

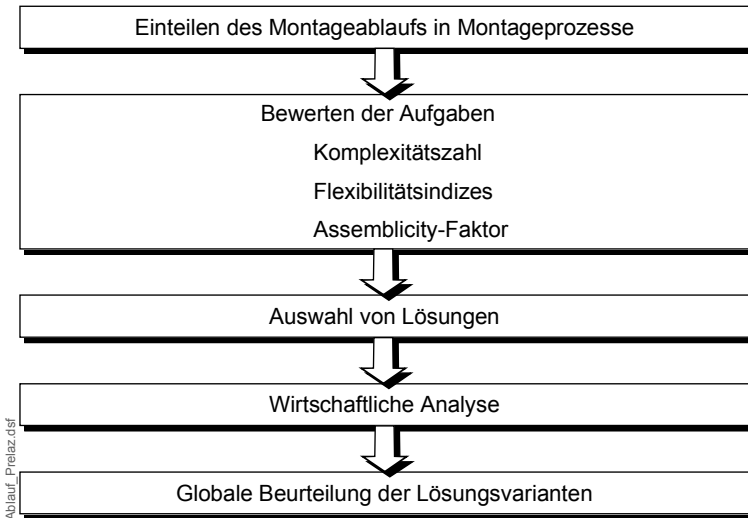


Abbildung 2.11: Ablauf der Montagesystemplanung nach PRELAZ (1985)

Für die Bestimmung der *Komplexitätszahl* werden Kriterien in den vier Bereichen *Erfolgsaussichten beim automatischen Zubringen*, *Komplexität des Greifers*, *Notwendige Sensorik* und *Bewegungskomplexität* bestimmt und anschließend gewichtet aufsummiert. Je größer die Komplexitätszahl ist, desto schwieriger wird die Automatisierung. Für die Bestimmung der Komplexitätszahl ist zumindest eine grobe Vorstellung einer gerätetechnischen Lösung nötig.

Bei der Bestimmung der *Flexibilitätsindizes* erfolgt eine Abschätzung, welche Art der Realisierung einer Montagestation am besten für die Durchführung der Aufgabe geeignet ist. Bei manueller Montage wird der Flexibilitätsindex 2 vergeben, bei flexibel automatisierter Montage der Wert 1 und bei starrer Automation der Wert 0. Nach welchen Kriterien diese Abschätzung erfolgen kann, wird nicht erwähnt. Die Entscheidung basiert auf der jeweiligen Erfahrung des Anwenders. Die Art der notwendigen Flexibilität wird durch Buchstaben angegeben. Hierbei steht *a* für die Flexibilität des Zubringens der Werkstücke und der Handhabungsoperationen, *b* steht für die Flexibilität der Greifer, *c* für die Flexibilität bezüglich zulässiger Abweichungen, *d* für die Flexibilität bei der Fügebewegung, *e* für die Flexibilität der Positionier- und Haltevorrichtungen und *f* für die Anpassungsfähigkeit an kleine und zahlreiche Losgrößen.

2.6 Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageabläufen bei der Montagesystemplanung

Der *Assemblicity Factor* berücksichtigt die Schwierigkeit eines Montageprozesses. Er hängt auf von PRELAZ nicht näher spezifizierte Weise von der Bewegungskomplexität und der Schwierigkeit des Werkstückzubringens ab.

Zur weiteren Planung werden Diagramme (Abbildung 2.12) erstellt, in denen die Komplexitätszahlen und die Flexibilitätsindizes über der für den einzelnen Prozess notwendigen Ausführungszeit graphisch aufgetragen sind. Für die Erstellung des Diagramms ist eine Bestimmung der Ausführungszeit des jeweiligen Prozesses notwendig. Es bleibt fraglich, ob dies mit der geforderten Genauigkeit möglich ist, da die Ausführungszeit auch von der Art der Ausführung (manuell, flexibel automatisiert, starr automatisiert) abhängig ist.

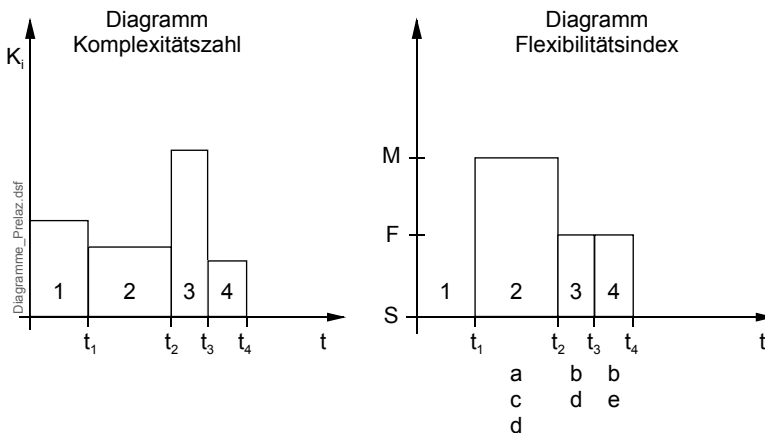


Abbildung 2.12: Darstellung der Diagramme nach PRELAZ (1985)

Bei der Auswahl alternativer Lösungen für die Montageaufgaben auf Basis der Diagramme werden 4 Phasen durchlaufen. In der ersten Phase erfolgt die *Kennzeichnung* der Aufgaben, die Hilfsmaschinen erfordern, die leicht durch einen Transferautomaten ausgeführt werden können und der Aufgaben, die nur manuell bewältigt werden können. In der zweiten Phase wird das für die Anwendung am besten geeignete Transportsystem bestimmt. Anschließend werden die Aufgaben betrachtet, die in der Phase 1 nicht gekennzeichnet worden sind. Nach Aussage des Autors sind diese Aufgaben vorzugsweise mit Robotern zu realisieren. Dabei sind die Komplexitätszahl, der Montageablauf, das Transportsystem und die System-Soll-Taktzeit zu berücksichtigen. In der abschließenden Phase 4 wird

unter Berücksichtigung der Flexibilitätsanforderungen ein Groblayout jedes einzelnen Arbeitsplatzes erstellt.

Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit erfolgt, indem die *Grenzstückzahl* bestimmt wird, ab der die Automatisierung verglichen mit der manuellen Montage interessant ist. Hier taucht jedoch das allen Investitionsrechnungen gemeinsame Problem auf, dass die Kosten einer automatisierten Lösung von den verwendeten Funktionsträgern abhängig sind. Diese Kosten sind jedoch erst bekannt, wenn die Montageanlage weit genug detailliert ist.

Da durch die singuläre Betrachtung von einzelnen Aufgaben (Bottom-up) nicht gewährleistet ist, dass für die gesamte Anlage ein globales Optimum erreicht wird, werden die einzelnen Arbeitsplätze anhand einer Checkliste überprüft. Die Kriterien sind die rationelle Verwendung der Freiheitsgrade, die Komplexität des Greifers, Typ und Anzahl der Zubringeeinrichtungen, Anzahl der Zusatzachsen, mechanisch programmierbare Vorrichtungen, Taktzeit, Umrüstzeit, Positionier- und Haltevorrichtungen sowie die Investitionssumme aller Geräte und Einrichtungen der Montagekette.

Eine Bewertung der von PRELAZ eingesetzten Vorgehensweisen zur Beurteilung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen ist in Tabelle 2.9 angegeben.

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Prelaz	ja	mittel	bedingt	bedingt	viel

Tabelle 2.9: Bewertung der Vorgehensweise zur Bestimmung der Automatisierbarkeit nach PRELAZ (1985)

2.7 Fazit und Konsequenz

Eine Kernfrage bei der Planung von Montagesystemen ist der unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten optimale Automatisierungsgrad. Die bestimmenden Einflussfaktoren hierfür sind die Komplexität der Montageaufgabe, der Flexibilität- und Kapazitätsbedarf des Produktspektrums sowie die Qualität der Einzelteile. Für die Bestimmung des wirtschaftlich optimalen Automatisierungsgrades haben verschiedene Autoren Vorschläge unterbreitet. Diese sind in Tabelle 2.10 zusammenfassend bewertet.

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Investitionsrechnung	ja	spät	ja	ja	wenig
Bullinger	ja	mittel	nein	bedingt	viel
Konold & Reger	ja	mittel	nein	nein	viel
Lotter (ABC-Analyse)	ja	mittel	bedingt	bedingt	viel
Grob & Haffner	nein	mittel	nein	ja	viel
Bick	ja	mittel	ja	nein	mittel
Boothroyd	ja	spät	ja	ja	viel
Prelaz	ja	mittel	bedingt	bedingt	viel

Tabelle 2.10: Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Methoden zur Bestimmung des Automatisierungsgrades

Eine Möglichkeit zur Bewertung des Automatisierungsgrades besteht in der sehr genauen Detaillierung der verschiedenen alternativen Montagesysteme und der darauf folgenden Durchführung einer Investitionsrechnung. Anhand der Kosten kann dann der wirtschaftliche Automatisierungsgrad bestimmt werden. Für diese Detaillierung ist ein hoher Planungsaufwand notwendig.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Generierung von so genannten *Komplexitätszahlen* für den Vergleich alternativer Lösungen. Auch hier wird die Kenntnis der gerätetechnischen Lösung vorausgesetzt. Das hat zur Folge, dass die alternativen Konzepte bis auf eine sehr hohe Detaillierungsstufe ausgearbeitet sein müssen, wofür ein hoher Planungsaufwand notwendig ist.

Weiterhin erfordern alle Methoden zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades, mit Ausnahme der Methoden, die auf einer Investitionsrechnung aufbauen, ein hohes Maß an Erfahrungswissen (Tabelle 2.10).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Methoden zur Bestimmung des unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten optimalen Automatisierungsgrades erst zu einem relativ späten Zeitpunkt eingesetzt werden können und der Zeit- und Kostenaufwand für die Beschaffung der Eingangsinformationen sehr hoch ist.

Für eine Beschleunigung der Montagesystemplanung besteht deshalb Bedarf an einer Methode, die eine **schnelle Eingrenzung des vorhandenen Lösungsraumes** ermöglicht. Je früher eine Entscheidung über die Art der Montage und damit über den Automatisierungsgrad getroffen werden kann, desto größer ist der Zeit- und Kostenvorteil der erzielt werden kann.

3 Konzeption der Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades

3.1 Übersicht

Die prinzipielle Idee der Methode zur frühzeitigen Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades bei der Montagesystemplanung besteht darin, neu zu planende bzw. noch nicht automatisierte Montageprozesse mit bereits wirtschaftlich automatisierten Montageprozessen zu vergleichen. Anhand der Ähnlichkeit zwischen den beiden Montageprozessen wird eine Aussage über die Automatisierbarkeit des Prozesses getroffen (Abbildung 3.1).

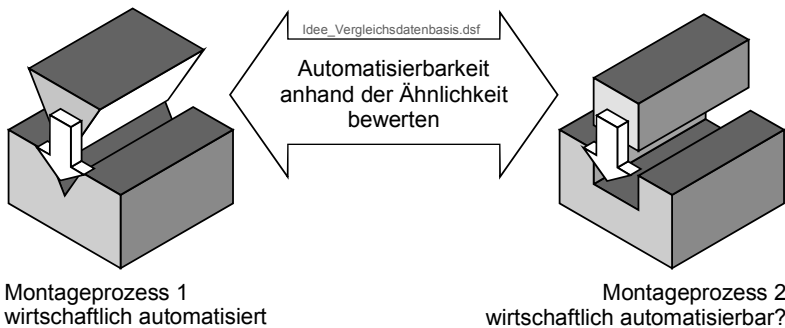


Abbildung 3.1: Bestimmung der Automatisierbarkeit durch Vergleich mit ähnlichen Prozessen

Im Rahmen dieses Kapitels werden die Anforderungen an die Methode zur frühzeitigen Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades abgeleitet (Kapitel 3.2). Unter Berücksichtigung der Anforderungen wird das Konzept der Methode erstellt (Kapitel 3.3.1). Zur Unterstützung der Methode werden Datenbanken und Algorithmen vorgestellt (Kapitel 3.3.2)

3.2 Anforderungen an die Methode

Keine Systeminformationen notwendig

Die Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades soll zunächst ohne Informationen über das Montagesystem auskommen und dadurch eine Bewertung zu einem sehr frühen Zeitpunkt ermöglichen. Informationen über Produktspektrum und zum Einsatz kommende Fügeprozesse werden bereits bei der Produktkonstruktion festgelegt [FELDMANN U. A. 2001, S. 13].

Quantifizierte Bestimmung des Realisierungsaufwandes

Die Bestimmung des Realisierungsaufwandes für eine automatisierte Lösung soll durch eine quantifizierte Bewertung der verfügbaren Produkt- und Prozessinformationen anhand definierter Kriterien erfolgen.

Aussage über die Automatisierbarkeit von Teilfunktionen

Die Bewertungsmethode soll eine Aussage über die Automatisierbarkeit der Teilfunktionen des Montageprozesses, Handhaben und Fügen, erlauben.

Wenig Erfahrungswissen

Durch die im Allgemeinen schlechte **Dokumentation** von im Rahmen der Montagesystemplanung getroffener Entscheidungen sowie bereits durchgeführter Automatisierungsmaßnahmen ist weder eine Nachvollziehbarkeit noch eine Nutzung des bei der Planung erworbenen Erfahrungswissens bei späteren Planungen möglich. Gerade dieses **Erfahrungswissen** ist jedoch eine wesentliche Grundlage für erfolgreiche Planungen [FELDMANN U. A. 2001, GEYER 1991, S. 5-7, SPITZNAGEL 1999]. Anforderung an die Methode ist eine gute Dokumentation, um so auf bereits gemachte Erfahrungen zurückgreifen zu können.

Flexible Anwendbarkeit

Die Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades soll für alle Ausgangssituationen einsetzbar sein. Es sollen nicht nur neu zu planende Montageprozesse sondern auch bereits realisierte einer Bewertung hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Automatisierbarkeit unterzogen werden können.

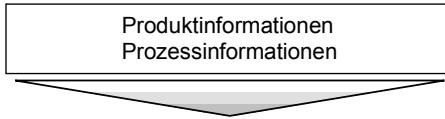
3.3 Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades

Eingangsinformationen für die Methode zur frühzeitigen Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades im Rahmen der Montageplanung sind Produkt- und Prozessinformationen aus der Konstruktion. Auf Basis dieser Informationen wird zunächst mindestens ein Montageablauf generiert und in Form eines Montagevorranggraphen dokumentiert. Anschließend erfolgt eine technische Bewertung des Realisierungsaufwandes sowie ein Vergleich der zulässigen mit den notwendigen Investitionen. Das führt zu einer deutlichen Reduzierung der hinsichtlich einer Automatisierung näher zu untersuchenden Prozesse (Abbildung 3.2).

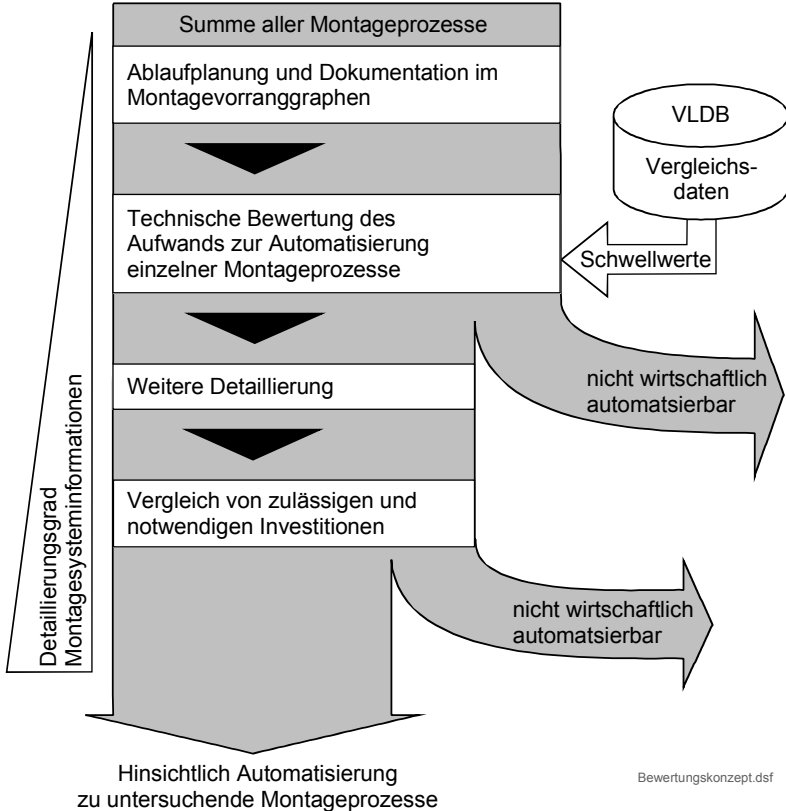
3.3.1 Vorgehen zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades

Um den technischen Realisierungsaufwand für eine Automatisierung der einzelnen Montageprozesse zu ermitteln, werden diese Prozesse mit Hilfe einer Nutzwertanalyse bewertet. Für die Bewertung müssen die Kriterien identifiziert werden, deren Ausprägung die Automatisierbarkeit des Montageprozesses beeinflusst. Bei der Identifikation der Kriterien ist zu beachten, dass die Bestimmung der Ausprägung mit den in der frühen Phase der Montagesystemplanung zur Verfügung stehenden Informationen möglich sein muss. Informationen die zur Verfügung stehen betreffen das **Produktspektrum** (z.B. Stückzahl), die **Füge- und Basisbauteile** (z.B. Fügehilfen vorhanden) und den **Fügeprozess** (z.B. Fügebewegung). Der unterschiedliche Einfluss der jeweiligen Kriterienausprägung auf den Aufwand zur Automatisierung des Montageprozesses wird durch die Gewichtung der Kriterien untereinander berücksichtigt. Damit auch der Aufwand für eine Teilautomatisierung des Montageprozesses in den Bereichen *Handhaben* und *Fügen* bewertet werden kann, ist zu untersuchen, welche der identifizierten Bewertungskriterien den Realisierungsaufwand für eine automatisierte Lösung in diesen beiden Bereichen beeinflussen. Ergebnis der Bewertung sind die Aufwandswerte, also Werte, die eine Aussage über den technischen Aufwand zur Realisierung einer Automatisierung des Montageprozesses und seiner Teilfunktionen Handhaben und Fügen erlauben.

Konstruktion



Montagesystemplanung



Bewertungskonzept.dsf

Abbildung 3.2: Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades

Für einen Vergleich des betrachteten Montageprozesses mit anderen Montageprozessen anhand der ermittelten Aufwandswerte werden aus der bisherigen Erfahrung Schwellwerte bestimmt (Kapitel 3.3.2). Liegt der Aufwandswert des be

trachteten Montageprozesses unterhalb des Schwellwertes, ist Automatisierungspotential vorhanden, d.h. der Aufwand für die weitere Detaillierung der manuellen und der automatisierten Lösungen ist gerechtfertigt.

Im Rahmen der Detaillierung werden Funktionsträger für die Realisierung des Montageprozesses mit groben Kosten sowie abgeschätzte Zeiten für die Ausführung des Prozesses bei den verschiedenen alternativen Lösungen erarbeitet. Diese Ergebnisse dienen als Eingangsinformation für eine grobe Abschätzung der zulässigen und der notwendigen Investitionen bei der Realisierung einer automatisierten Lösung.

Die *wirtschaftlich zulässigen* Investitionen werden mit Hilfe einer Kostenvergleichsrechnung ermittelt. Dazu werden die Formeln für die Berechnung der Kosten einer manuellen Montage und einer automatisierten Montage gleichgesetzt. Anschließend wird diese Formel nach den Investitionen in eine Automatisierung aufgelöst.

Die *notwendigen* Investitionen für eine automatisierte Lösung des Montageprozesses ergeben sich durch die bei der Detaillierung festgelegten Funktionsträger. Deren Kosten werden entweder durch Richtpreise der Hersteller oder, sofern diese Funktionsträger bereits verwendet wurden, aus der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis (Kapitel 3.3.2) bestimmt werden.

Sofern die *notwendigen* Investitionen über den *wirtschaftlich zulässigen* Investitionen liegen, braucht eine Automatisierung des Montageprozesses nicht weiter betrachtet zu werden.

3.3.2 Datenbasen und Algorithmen

Vergleichs- und Lösungsdatenbasis

Die Vergleichs- und Lösungsdatenbasis (VLDB) beinhaltet die vorliegende Erfahrung bei der Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montagesystemen. In der VLDB sind Informationen über bereits realisierte Montageprozesse, wie beispielsweise die Montageart, die Montagezeit oder auch Kosten der Funktionsträger für die Lösung der Montageaufgabe abgelegt (Abbildung 3.3).

Anhand der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis können die entsprechenden *Schwellwerte* für die Automatisierbarkeit des Montageprozesses, der Handha

bung und des Fügeprozesses bestimmt werden. Der *Schwellwert* ist dabei jeweils der größte Aufwandswert, den ein *automatisierter* Montage-, Handhabungs- bzw. Fügeprozess in den jeweiligen Bereichen unter Berücksichtigung der Randbedingungen erreicht hat. Durch die Nutzung der Schwellwerte ist es möglich, Montageprozesse verschiedener Produkte miteinander zu vergleichen, sofern bezüglich der Kriterienausprägung eine Ähnlichkeit vorliegt.

Zu Beginn des Einsatzes der vorgeschlagenen Methode ist die Vergleichs- und Lösungsdatenbasis noch nicht mit Vergleichsinformationen gefüllt. Diese werden erst bei längerer Anwendung der Methode bei der Montagesystemplanung generiert. Eine Möglichkeit die Datenbasis bereits vor der ersten Bewertung mit Vergleichs- und Lösungsdaten zu füllen, ist die Analyse und Bewertung von bereits realisierten Montageprozessen.

Jede weitere abgeschlossene Planung ermöglicht die Erweiterung der Vergleichsdatenbasis (Abbildung 3.3). Die in der Produktinformationsdatenbasis gespeicherten einzelnen Montageprozesse werden um Informationen zu den jeweils realisierten Lösungen, wie beispielsweise die Montageart, ergänzt und dann in die Vergleichsdatenbasis aufgenommen. Dadurch kann bei zukünftigen Planungen auf die bereits gemachten Erfahrungen zugegriffen werden und gegebenenfalls eine Anpassung der Schwellwerte in den einzelnen Bereichen erfolgen.

Produktinformationsdatenbasis

Die Produktinformationsdatenbasis (PIDB) dient zur Aufnahme sämtlicher Informationen, die für die Bestimmung des Aufwandswertes eines Montageprozesses für ein spezielles Produkt erforderlich sind. Weiterhin beinhaltet sie zusätzliche Informationen wie den Bearbeiter oder das Datum der Bewertung. Die entsprechenden Informationen werden vom Benutzer interaktiv eingegeben und in der Produktinformationsdatenbasis gespeichert. Für jedes neue Produkt ist eine eigene Datenbasis anzulegen. Die Dokumentation der Bewertung und der daraus resultierenden Entscheidung erfolgt durch das Abspeichern der Aufwands- und Schwellwerte in der Produktinformationsdatenbasis.

Kriteriendatenbasis

In der Kriteriendatenbasis (KDB) sind die Bewertungskriterien für den Realisierungsaufwand eines automatisierten Montageprozesses sowie seiner Teilfunktionalen Handhabung und Fügen mit ihren jeweiligen Ausprägungen und Gewichtungsfaktoren hinterlegt.

3 Konzeption der Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades

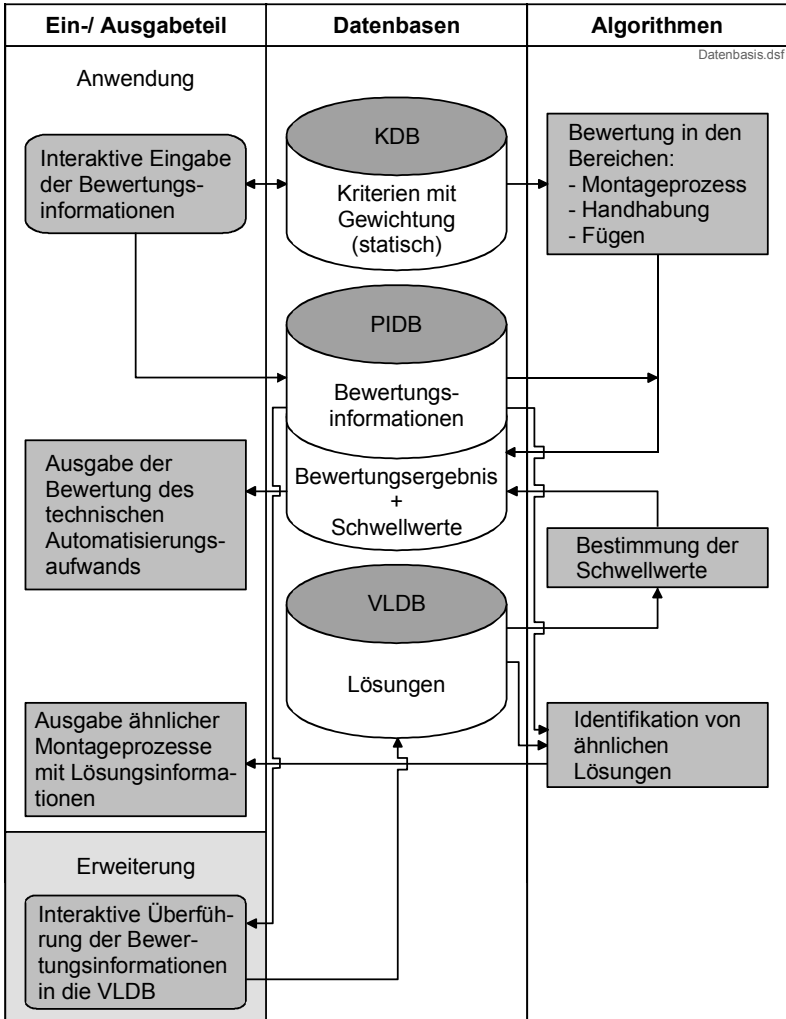


Abbildung 3.3: Darstellung der Datenbasen und Algorithmen zur Unterstützung der Methode

Algorithmen

Der Algorithmus für die *Durchführung der Bewertung* greift auf die mit Werten hinterlegten Ausprägungen des jeweiligen Produktes sowie die Gewichtung der Kriterien zu und bestimmt so den Aufwandswert für den Montageprozess, die Handhabung und den Fügeprozess.

Der Algorithmus zur *Bestimmung der Schwellwerte* für den Montageprozess, die Handhabung und den Fügeprozess durchsucht die Vergleichs- und Lösungsdatenbasis in den jeweiligen Bereichen nach dem maximalen Aufwandswert, bei dem unter den vorgegebenen Randbedingungen eine automatisierte Lösung realisiert wurde.

Da bei der Bewertung der Aufwandswert mit dem Schwellwert verglichen wird, kann eine Aussage über die Automatisierbarkeit gemacht werden. Allerdings ermöglicht der Vergleich nicht, ähnliche Lösungen aus der Datenbank zu extrahieren um beispielsweise deren Montageart oder die für die Realisierung eingesetzten Funktionsträger festzustellen. Deshalb wird ein Algorithmus zur *Identifikation ähnlicher Lösungen* vorgesehen. Dieser vergleicht die aktuelle Bewertung mit der von bereits in der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis hinterlegten Montageprozessen, um so ähnliche Lösungen identifizieren zu können. Für diesen Vergleich werden die Bewertungsergebnisse des aktuellen Bauteiles von jedem bereits in der Datenbank gespeicherten Bewertungsergebnis abgezogen und von dem Ergebnis der Betrag gebildet. Je kleiner der Differenzbetrag zwischen der aktuellen Bewertung für den Montageprozess, die Handhabung und das Fügen ist, desto ähnlicher sind sich die Prozesse und damit auch die realisierten Lösungen.

3.4 Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel erstellte Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montagesystemplanung nutzt einen Vergleich von neu zu planenden oder zu optimierenden Montageprozessen mit bereits realisierten. Hierfür kommt die Nutzwertanalyse zum Einsatz. Es werden entsprechende Aufwandswerte für die Realisierung eines automatisierten Montageprozesses generiert. Durch einen Vergleich dieser Aufwandswerte mit erfahrungsbasierten Schwellwerten aus der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis kann eine erste Abschätzung der Automatisier

3 Konzeption der Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades

barkeit des Montageprozesses erfolgen. Für Prozesse mit Automatisierungspotential, also solche, bei denen der Aufwandswert kleiner als der Schwellwert ist, kann eine weitere Detaillierung der manuellen und der (teil-)automatisierten Varianten des Montagesystems erfolgen.

Wenn im weiteren Verlauf erste Zeiten für die Montage generiert worden sind, kann durch einen Vergleich der wirtschaftlich zulässigen Investitionen mit den notwendigen Investitionen eine weitere Eingrenzung des Lösungsraumes erfolgen.

Die hier vorgestellte Methode zur frühzeitigen Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades ist allgemein anwendbar. Lediglich die entsprechende Vergleichs- und Lösungsdatenbasis ist anwendungsspezifisch mit Daten zu füllen.

4 Ausarbeitung der Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades

4.1 Übersicht

Im ersten Teil dieses Kapitels wird anfangs genauer auf die technische Bewertung eingegangen (Kapitel 4.2). Zunächst wird der Ablauf der Bewertung dargestellt (Kapitel 4.2.1). Anschließend werden die dafür notwendigen Bewertungskriterien dargestellt, mit Ausprägungen versehen (Kapitel 4.2.2) und ihr Einfluss auf die Automatisierbarkeit der Teilfunktionen Handhaben und Fügen ermittelt (Kapitel 4.2.3). Danach erfolgt die Darstellung der Struktur der Produktinformationsdatenbasis und der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis. Im zweiten Teil dieses Kapitels erfolgt eine detailliertere Betrachtung der monetären Bewertung (Kapitel 4.3). Nach der Darstellung des Ablaufs (Kapitel 4.3.1) werden die Vorgehensweisen zur Bestimmung der wirtschaftlich zulässigen und der notwendigen Investitionen vorgestellt (Kapitel 4.3.2 und Kapitel 4.3.3).

4.2 Technische Bewertung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen

4.2.1 Ablauf der technischen Bewertung

Die Bestimmung des Aufwandswertes soll mit Hilfe der Nutzwertanalyse erfolgen (vgl. Kapitel 2.5.1). Zur Vorbereitung der Bewertung müssen zunächst Kriterien und Ausprägungen bestimmt und gewichtet werden (s. Kapitel 4.2.2). Anschließend erfolgt die Auswahl der vorliegenden Ausprägung. Diese ist mit einem Wert hinterlegt, der mit dem Kriteriengewicht multipliziert den Teilaufwandswert für dieses Kriterium ergibt. Die Summe der Teilaufwandswerte in den drei Bereichen Montageprozess, Handhabung und Fügen ergibt drei spezifische Aufwandswerte. Auf Basis eines Vergleichs der Aufwandswerte mit den ermittelten Schwellwerten erfolgt eine Entscheidung über die wirtschaftlich Automatisierbarkeit (Abbildung 4.1).

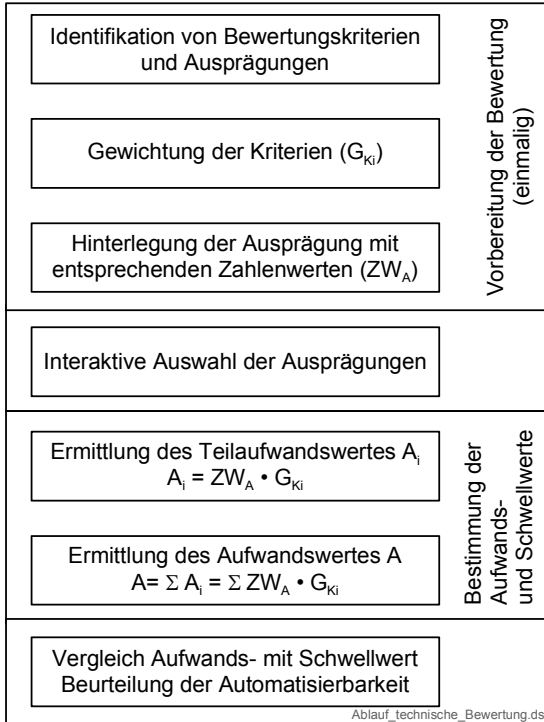


Abbildung 4.1: Ablauf der technischen Bewertung

4.2.2 Kriterien zur Bewertung des Realisierungsaufwandes und deren Ausprägungen

Grundlage für die Ermittlung von Kriterien die den Aufwand einer Realisierung beeinflussen sind Richtlinien oder Regeln zur montagegerechten *Bauteilgestaltung* (Kapitel 2.4.2). Da diese Richtlinien nur Hinweise bzw. Beispiele für eine montagegerechte Konstruktion liefern, müssen sie durch die Bestimmung entsprechender Ausprägungen einer Quantifizierung zugänglich gemacht werden. Zusätzlich müssen noch die pro Jahr geplante bzw. produzierte **Stückzahl**, die entsprechenden **Losgrößen** sowie die weitere **Produktionsdauer** (Länge des Produktlebenszyklus) berücksichtigt werden. Diese Werte kommen aus der Pro

duktplanung und dienen neben den Bewertungskriterien zur Abschätzung der wirtschaftlichen Automatisierbarkeit und zur Identifikation von ähnlich gelagerten Montageproblemen.

Folgende Kriterien wurden identifiziert, mit Ausprägungen sowie einer Beschreibung der Zuordnung zu den Ausprägungen versehen und in die *Kriterien-datenbasis (KDB)* aufgenommen.

Ist das Fügebauteil (FBT) formstabil

Die Regeln für die montagegerechte Bauteilgestaltung weisen darauf hin, dass nicht formstabile Bauteile vermieden werden sollen, da sie schlechte Eigenschaften sowohl für die Handhabung als auch für das Fügen haben. Der Aufwand für die Realisierung einer automatisierten Lösung steigt an.

Ausprägungen für dieses Kriterium sind:

formstabil $K_{Bs} < 0,001$	reduziert formstabil $0,001 < K_{Bs} < 0,01$	kaum formstabil $0,01 < K_{Bs} < 0,03$	formlabil $0,03 < K_{Bs}$
--------------------------------	---	---	------------------------------

Tabelle 4.1: Ausprägungen des Kriteriums FBT formstabil

Nach SCHNEIDER 1999 ist eine Möglichkeit die Fügebauteile den entsprechenden Ausprägungen zuzuteilen die Ermittlung der Biegesteifigkeit. Die Kennzahl für die Biegesteifigkeit K_{Bs} ist das Verhältnis der größten Durchbiegung h_{max} unter dem Werkstückgewicht $G=m \cdot g$ zur größten vorliegenden Länge l des Bauteils.

$$K_{Bs} = \frac{h_{max}}{l}$$

Gleichung 4-1: Berechnung der Biegesteifigkeitskennzahl

Die Biegesteifigkeitskennzahl kann entweder experimentell ermittelt oder mittels folgender Formel abgeschätzt werden (SCHNEIDER 1999).

$$K_{Bs} = \frac{h}{l} \approx \frac{G \cdot l^2}{48 \cdot E \cdot I_y}$$

mit:

G = Schubmodul [N/mm²],

E = Elastizitätsmodul [N/mm²]

I_y = Flächenträgheitsmoment um die y-Achse [mm⁴].

Gleichung 4-2: Abschätzung der Biegesteifigkeitskennzahl

Ist das Fügebauteil (FBT) empfindlich

Das Kriterium *ist das Fügebauteil empfindlich* hat folgende Ausprägungen:

unempfindlich	kaum empfindlich	empfindlich	sehr empfindlich
---------------	------------------	-------------	------------------

Tabelle 4.2: Ausprägungen des Kriteriums FBT empfindlich

Bauteile werden als *unempfindlich* klassifiziert, wenn selbst hohe Kräfte (größer der doppelten Gewichtskraft) einwirken können ohne dass sichtbare oder funktionsrelevante Beschädigungen auftreten. *Kaum empfindliche* Bauteile sind solche, bei denen eine geringe sichtbare Beschädigung tolerierbar ist, da die Funktion des Bauteiles erhalten bleibt. Als *empfindlich* werden die Bauteile eingeordnet, bei denen entweder der optische Eindruck der Bauteile relevant ist, wie beispielsweise im Sichtbereich liegende Bauteile mit einer lackierten Oberfläche, oder solche, bei denen funktionsrelevante Schäden auftreten. Bei *sehr empfindlichen* Bauteilen können durch das Einwirken äußerer Kräfte leicht Beschädigungen auftreten, die zur Zerstörung des Bauteiles führen (z.B. Bauteile mit Oberflächenbeschichtungen oder Filtermembranen).

Am FBT Greifflächen für automatisiertes Handhaben und Fügen vorhanden

Sofern das Fügebauteil von außen kraftschlüssig mit einem Zwei- oder Dreifingergreifer gegriffen werden kann und die vorhandenen Greifflächen ausreichend groß sind, so ist die Handhabung des Bauteiles mit einem einfachen Greifer zu

realisieren. Diese Bauteile werden der Ausprägung *Greifflächen außen* zugeordnet. Wenn die Greifflächen im Bauteilinneren liegen, eine unregelmäßige Kontur haben, schlechter zugänglich sind oder in mindestens einer Richtung Formschluss hergestellt werden muss, werden die Bauteile der Ausprägung *Greifflächen innen* zugeordnet. Sofern das Bauteil den Einsatz von Vakuum- oder Magnetgreifern erfordert, werden sie der Ausprägung *Magnetgreifer* zugeordnet. Muss das Bauteile mit stoffschlüssigen oder berührungslosen Greifverfahren gehandhabt und gefügt werden, erfolgt eine Zuordnung zur Ausprägung *Greifer mit Stoffschluss* (z.B. Kryo-Greifer, s. STEPHAN & SELIGER 1999).

Ausprägungen:

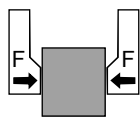
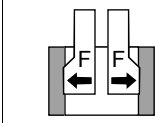
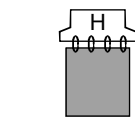
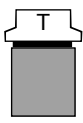
			
Greifflächen außen	Greifflächen innen	Magnetgreifer	Greifer mit Stoffschluss

Tabelle 4.3: Ausprägung des Kriteriums am FBT Greifflächen vorhanden

Prozessrelevante Varianten des Fügebauteiles

Die Anzahl der prozessrelevanten Varianten des Fügebauteiles beeinflusst die notwendige Flexibilität der Anlage. Jede Flexibilität ist jedoch mit zusätzlichem Aufwand bei der Planung und Realisierung eines Montageprozesses verbunden. Information über die Zahl der **prozessrelevanten Varianten** des Fügebauteiles werden aus den von der Produktkonstruktion erstellten Stücklisten entnommen.

Ausprägungen:

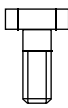
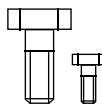
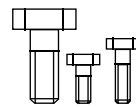
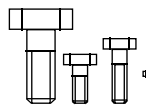
			
keine weitere	eine weitere Variante	zwei weitere Varianten	mehr als zwei weitere Varianten

Tabelle 4.4: Ausprägung des Kriteriums prozessrelevante Varianten des FBT

Hüllvolumen des Fügebauteiles (Länge/ Breite/ Höhe)

Das Kriterium Hüllvolumen hat folgende Ausprägungen, wobei die genauen Abmessungen für klein, mittel und groß unternehmensspezifisch festzulegen sind:

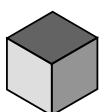
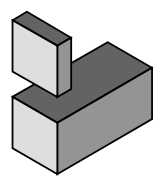
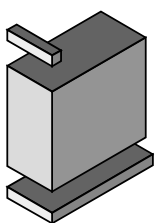
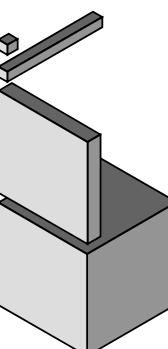
<p>Alle 3 Ausdehnungen mittelgroß</p> 	<p>Eine Ausdehnung klein oder groß (flächiges oder langes Bauteil)</p> 	<p>Zwei Ausdehnungen klein und/ oder groß (langes oder flächiges Bauteil)</p> 	<p>Alle drei Ausdehnungen klein und/ oder groß</p> 
---	--	---	--

Tabelle 4.5: Ausprägungen des Kriteriums Hüllvolumen des FBT

Anzahl stabiler Bauteillagen des FBT

Für dieses Kriterium sind folgende Ausprägungen möglich:

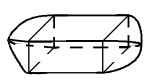
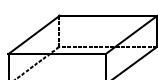

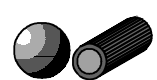
<p>bis zu vier</p> 	<p>mehr als vier</p> 	<p>stabile und instabile</p> 	<p>nur instabile</p> 
--	--	--	--

Tabelle 4.6: Ausprägung des Kriteriums Anzahl stabiler Bauteillagen des FBT

Die Zuordnung zu den dargestellten Ausprägungen kann durch die Analyse der Bauteile oder Konstruktionszeichnungen erfolgen. Theoretische Methoden zur Bestimmung stabiler Bauteillagen aus dem Verhältnis der Trägheitsmomente um die Raumachsen sind beispielsweise aus BOOTHROYD (1992) zu entnehmen.

Symmetrie des Fügebauteiles

Das Kriterium hat die in der Tabelle dargestellten Ausprägungen. Eine Zuordnung zu den jeweiligen Ausprägungen erfolgt durch die Analyse der Bauteile oder ihrer Konstruktionszeichnungen.

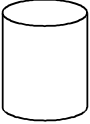
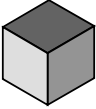
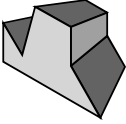
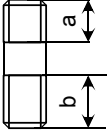
 Kugel Zylinder (rotationssymmetrisch)	 Würfel, Quader (flächensymmetrisch)	 ausgeprägt asymmetrisch/ keine Symmetrie	 scheinbar symmetrisch
--	---	--	--

Tabelle 4.7: Ausprägungen des Kriteriums Symmetrie des FBT

Verhaken oder aneinander Haften bei Fügebauteilen im Haufwerk möglich

Die Neigung von Bauteilen zum Verhaken, Verklemmen und Überlappen aufgrund der geometrischen Form hat Einfluss auf die Komplexität und die Ausführung des Vereinzelnprozesses (HILGENBÖCKER 1985). Hütter (1979) beschreibt die Durchdringfähigkeit als Verhältnis der größten Halbzeugbreite t zur Öffnungsbreite e des Werkstückes. Die Hakfähigkeit wird beschrieben als Verknüpfung von geometrischen und schwerpunktsbezogenen Merkmalen. Sie werden aus Innenkonturverläufen und anderen schwerpunktsbezogenen geometrischen Verhältnissen abgeleitet. Zur genaueren Bestimmung sei hier auf HÜTTER (1979, S. 26ff) verwiesen.

Folgende Ausprägungen dieses Kriteriums sind möglich:

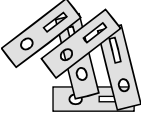
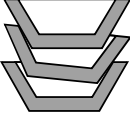
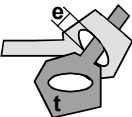
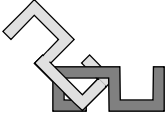
nein	Haften bzw. Verkleben möglich	Bauteildurchdringung möglich $e > t$	Verhaken der Bauteile möglich
			

Tabelle 4.8: Ausprägung des Kriteriums Verhaken oder aneinander Haften

Fehlerhafte Fügebauteile, Fremdteile, Verschmutzung

Das Qualitätsniveau der Fügebauteile kann auf verschiedene Arten bestimmt werden. Eine Möglichkeit ist der Prozentsatz von noch tolerierbaren fehlerhaften Bauteilen (AQL = acceptable quality level) oder die Angabe der tolerierbaren Zahl von fehlerhaften Bauteilen in fpm (faults per million). Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die defekten Teile ins Verhältnis zu den funktionsfähigen Teilen zu setzen. Bei Bauteilen, die beispielsweise eine 100% Prüfung durchlaufen haben, ist der AQL-Wert 0% und somit eine Zuordnung zur Ausprägung nie möglich. Die genauen Werte für die Zuordnung in die weiteren Ausprägungen sind abhängig vom Unternehmen und von den betrachteten Bauteilen.

Ausprägungen:

nie	sehr selten	selten	häufig
-----	-------------	--------	--------

Tabelle 4.9: Ausprägung des Kriteriums fehlerhafte Bauteile

Zugänglichkeit des Positionierbereichs

Die Zugänglichkeit Q_p des Positionierbereiches ist definiert als Verhältnis des vorhandenen zum erforderlichen Bewegungsraum. Sofern der vorhandene Bewegungsraum erheblich größer ist, als der erforderliche, so ist die Zugänglichkeit sehr gut. Je näher sich das Verhältnis an den Wert 1 annähert, desto schlechter wird die Zugänglichkeit zum Positionierbereich. Bei Werten, die kleiner als 1 sind, ist ohne konstruktive Änderung des Produktes der Positionierbereich nicht

zugänglich und das Fügebauteil nicht montierbar. Die Ausprägung $Q_p < 1$ wird daher nicht betrachtet [LOHWASSER & HERTWIG 1990].

Ausprägungen:

sehr gut $1,5 < Q_p$	gut $1,2 < Q_p < 1,5$	befriedigend $1 < Q_p < 1,2$	ausreichend $Q_p = 1$
-------------------------	--------------------------	---------------------------------	--------------------------

Tabelle 4.10: Ausprägung des Kriteriums Zugänglichkeit des Positionierbereichs

Orientierung des FBT vor dem Fügen

Je mehr Achsen für eine Orientierung des FBT vor dem Fügen notwendig sind, desto mehr Freiheitsgrade muss ein automatisiertes System besitzen und desto größer ist der Aufwand für die sichere Realisierung einer automatisierten Lösung. Das Kriterium kann folgende Ausprägungen annehmen:

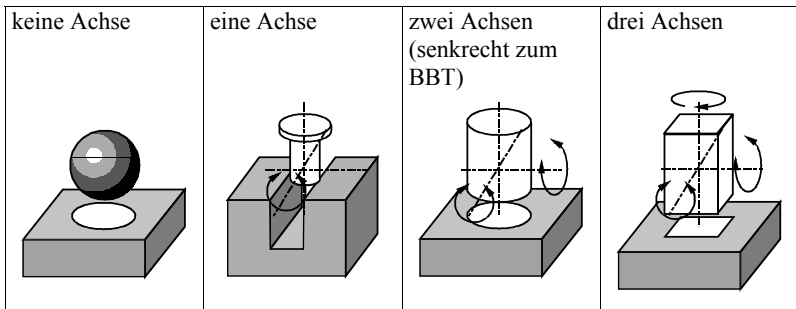


Tabelle 4.11: Ausprägung des Kriteriums Orientierung des FBT vor dem Fügen

Fügebewegung

Bei steigender Komplexität der Fügebewegung sind mehr Achsen für eine automatisierte Realisierung notwendig. Folgende Ausprägungen des Kriteriums sind möglich:

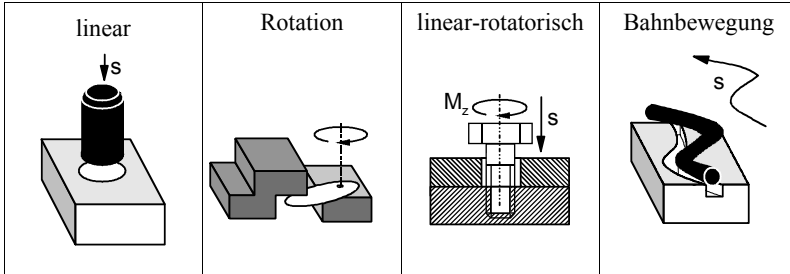


Tabelle 4.12: Ausprägung des Kriteriums Fügebewegung

Fügekraft oder Fügoment

Die für den Fügevorgang notwendige Kraft bzw. das notwendige Moment hat Einfluss auf die notwendigen Betriebsmittel und damit direkten Einfluss auf den Aufwand für eine automatisierte Montage. Die Fügekraft bzw. das Moment wird vom Konstrukteur vorgegeben. Bei manueller Ausführung der Montage können die maximal möglichen Kräfte und Momente aus der Norm DIN 33411, Teil 1 bis 5 entnommen werden. Sind die Kräfte bzw. Momente höher als die in der Norm genannten, so ist für die Ausführung des Prozesses eine mechanisierte oder automatisierte Station vorzusehen.

Ausprägung:

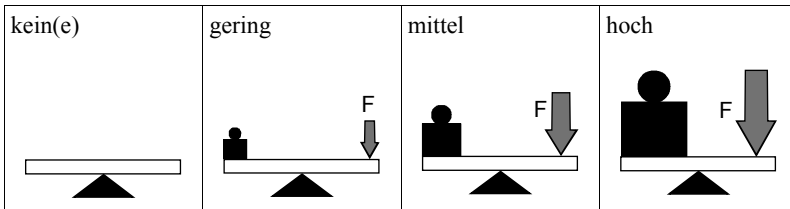


Tabelle 4.13: Ausprägungen des Kriteriums Fügekraft oder Fügoment

Sofern bei einem Fügeprozess, wie beispielsweise dem Auflegen, nur die Gewichtskraft des Fügebauteiles wirkt, kann die Ausprägung kein(e) oder gering eingesetzt werden. Beim Einschieben liegen die Kräfte im Bereich zwischen gering und mittel und beim Einpressen sind hohe Kräfte erforderlich. Der genaue

Wertebereich für die Zuordnung zu den Ausprägungen hängt vom produzierten Produktspektrum ab.

Fü Gehilfen an Füge- und Basisbauteil (BBT) vorhanden

Durch Fü Gehilfen wird die notwendige Genauigkeit der Positionierung und Orientierung reduziert und damit auch der Aufwand für die einzusetzenden Funktionsräger. Die Zuordnung der Bauteile zu den Ausprägungen erfolgt durch die Analyse der Bauteile oder der technischen Zeichnungen.

Ausprägung:

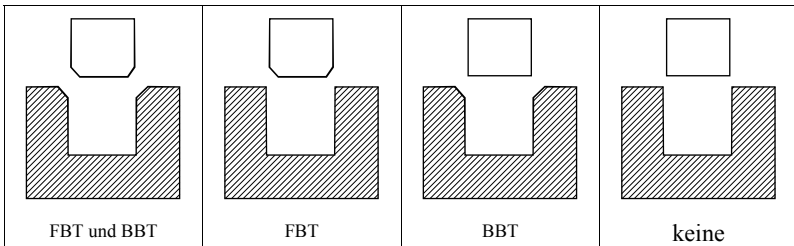


Tabelle 4.14: Ausprägungen des Kriteriums Fü Gehilfen vorhanden

Anzahl der Basisbauteile

Je größer die Anzahl der Basisbauteile, in die ein Fü Gehbauteil gefügt werden soll, desto höher ist der Aufwand für die Herstellung der Verbindung. Es addieren sich verschiedene Toleranzen und dadurch ist eine höhere Positioniergenauigkeit für das Fü Gehbauteil notwendig. Folglich ist auch der Aufwand für die Realisierung einer automatisierten Montage erhöht. Die Zuordnung erfolgt durch die Analyse des Produktaufbaus.

Ausprägungen:

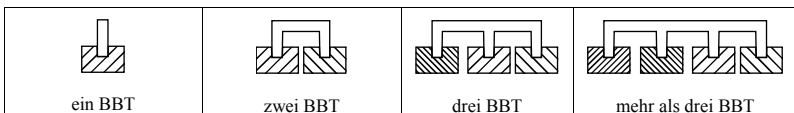


Tabelle 4.15: Ausprägungen des Kriteriums Anzahl der Basisbauteile

Anzahl der Kontaktstellen des FBT

Eine Zuordnung der Bauteile zu den Ausprägungen ist durch die Analyse der Bauteile oder technischer Zeichnungen möglich.

Ausprägungen:

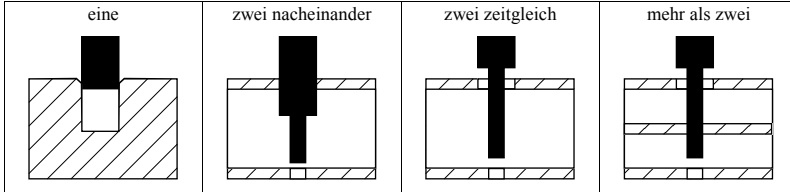


Tabelle 4.16: Ausprägungen des Kriteriums Anzahl der Kontaktstellen des FBT

Fügen gegen einen Anschlag

Für die Zuordnung zu den Kriterien werden Bauteilzeichnungen oder vorhandene Füge- und Basisbauteile analysiert.

Ausprägungen:

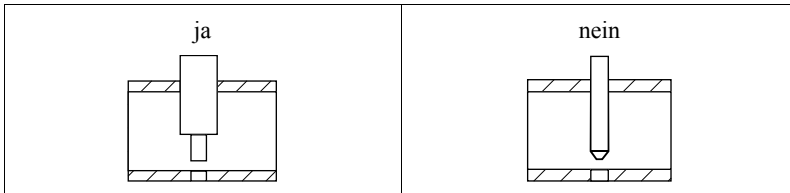


Tabelle 4.17: Ausprägungen des Kriteriums Fügen gegen einen Anschlag

Fügebauteil nach Fügeprozess gesichert

Ausprägungen:

FBT in alle Richtungen gesichert	Schwerkraft und Formschluss	und	Schwerkraft und Reibung	und	zusätzliche Sicherung für FBT nötig
----------------------------------	-----------------------------	-----	-------------------------	-----	-------------------------------------

Tabelle 4.18: Ausprägungen des Kriteriums FBT nach Fügeprozess gesichert

Freiraum beim Fügen

Der Freiraum beim Fügen (Q_F) lässt sich genau so wie die Zugänglichkeit des Positionierbereichs als Verhältnis des verfügbaren zum notwendigen Fügebereich definieren. Wenn der Freiraum für das Fügewerkzeug stark eingeschränkt ist, dann kann der Fügeprozess nicht mehr mit einem Standardwerkzeug durchgeführt werden, sondern es muss eine Sonderkonstruktion erarbeitet werden. Das ist mit einem höheren Realisierungsaufwand verbunden [BOOTHROYD 1992, LOHWASSER & HERTWIG 1990].

Ausprägungen:

sehr gut $1,5 < Q_F$	gut $1,2 < Q_F < 1,5$	befriedigend $1 < Q_F < 1,2$	ausreichend $Q_F = 1$
-------------------------	--------------------------	---------------------------------	--------------------------

Tabelle 4.19: Ausprägung des Kriteriums Zugänglichkeit des Positionierbereichs

Notwendigkeit von Sonderoperationen

Sofern bei dem betrachteten Montageprozess „Sonderoperationen“ wie Justage, Reinigen, Fetten oder Markieren in einen automatisierten Montageablauf integriert werden müssen, ist mit einem zusätzlichen Aufwand bei der Realisierung und damit mit einer schlechteren Wirtschaftlichkeit zu rechnen.

Ausprägungen:

keine	eine	zwei	mehr als zwei
-------	------	------	---------------

Tabelle 4.20: Ausprägungen des Kriteriums Sonderoperationen notwendig

Zusammenfassung der Kriterien mit ihren Ausprägungen und Zuordnung von Werten zu den Ausprägungen

In der folgenden Tabelle sind alle identifizierten Kriterien zusammengefasst dargestellt. Die Ausprägungen der Kriterien werden jeweils den Werten 1 bis 4 zugeordnet (Tabelle 4.21).

4.2 Technische Bewertung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen

Kriterium	Aufwand für automatisierten Montageprozess			
	1	2	3	4
FBT formstabil	formstabil	reduziert formstabil	kaum formstabil	formlabil
FBT empfindlich	unempfindlich	kaum empfindlich	empfindlich	sehr empfindlich
Greifflächen	Greifflächen außen	Greifflächen innen	Magnetgreifer	Greifer mit Stoffschluss
Varianten	keine weitere	eine	zwei	mehr als zwei
Hüllvolumen (Länge/ Breite/ Höhe)	Alle 3 Abmessungen mittelgroß	Eine Abmessung klein oder groß	Zwei Abmessungen klein und/ oder groß	Alle drei Abmessungen klein und/ oder groß
Symmetrie	Kugel Zylinder (rotations-symmetrisch)	Würfel, Quader (flächen-symmetrisch)	ausgeprägt asymmetrisch/ keine Symmetrie	scheinbar symmetrisch
Stabile Lagen	bis zu vier	mehr als vier	stabile und instabile	nur instabile
Verhaken	nein	Haften bzw. Verklemmen möglich	Bauteildurchdringung möglich	Verhaken der Bauteile möglich
Fehlerhafte BT	nie	sehr selten	selten	häufig
Zugänglichkeit Positionierbereich	sehr gut $1,5 < Q_P$	gut $1,2 < Q_P < 1,5$	befriedigend $1 < Q_P < 1,2$	ausreichend $Q_P = 1$
Orientieren	keine Achse	eine Achse	zwei Achsen	drei Achsen
Fügebewegung	linear	Rotation	linear-rotatorisch	Bahnbewegung
Kraft/ Moment	kein(e)	gering	mittel	hoch
Fügehilfen	FBT und BBT	FBT	BBT	keine
Basisbauteile	ein	zwei	drei	mehr als drei
Kontaktstellen	eine	zwei nacheinander	zwei zeitgleich	mehr als zwei
Anschlag	ja		nein	
FBT gesichert	alle Richtungen	Schwerkraft und Formschluss	Schwerkraft und Reibung	zusätzliche Sicherung nötig
Freiraum beim Fügen	sehr gut $1,5 < Q_F$	gut $1,2 < Q_F < 1,5$	befriedigend $1 < Q_F < 1,2$	ausreichend $Q_F = 1$
Sonderoperationen notwendig	keine	eine	zwei	mehr als zwei

Tabelle 4.21: Zusammenfassung der Kriterien, deren Ausprägung und Wert

4.2.3 Einfluss der Kriterien auf den Automatisierungsaufwand bei Handhabung und Fügen

Alle Kriterien beeinflussen die Aufwand für die Realisierung des automatisierten Montageprozesses. Der Einfluss auf die Teilfunktionen Handhabung und Fügen ist jedoch nicht bei allen Kriterien in gleichem Maße gegeben. In der folgenden Tabelle ist der Einfluss der Kriterien auf den Aufwand für die Automatisierung der Teilfunktionen dargestellt.

Kriterium	Einfluss auf		
	Montageprozess	Handhabung	Fügen
Stückzahl	x	x	x
Losgrößen	x	x	x
Länge des Produktlebenszyklus	x	x	x
FBT formstabil	x	x	x
FBT empfindlich	x	x	x
Greifflächen für HH und F an FBT	x	x	x
Prozessrelevante Varianten des FBT	x	x	x
Hüllvolumen des FBT	x	x	
Symmetrie des FBT	x	x	
Anzahl stabiler Bauteillagen	x	x	
Verhaken oder aneinander haften der FBT	x	x	
Fehlerhafte FBT, Fremdteile Verschmutzung	x	x	
Zugänglichkeit des Positionierbereiches	x	x	
Orientieren des FBT vor dem Fügen	x	x	
Fügebewegung	x		x
Fügekraft-/ Moment	x		x
Fügehilfen vorhanden	x		x
Anzahl Basisbauteile	x		x
Anzahl Kontaktstellen des FBT	x		x
Fügen gegen einen Anschlag	x		x
FBT nach Fügeprozess gesichert	x		x
Freiraum beim Fügen	x		x
Sonderoperationen notwendig	x		

Tabelle 4.22: Einfluss der ermittelten Kriterien auf die Teilfunktionen des Montageprozesses

Der unterschiedliche Einfluss, den die einzelnen Kriterien auf die Automatisierbarkeit des Montageprozesses und seiner Teilfunktionen haben, wird durch eine Gewichtung der Kriterien berücksichtigt. Durch diese Gewichtung können auch unternehmens- oder branchenspezifische Randbedingungen erfasst werden. Eine Methode zur Gewichtung der Kriterien ist der paarweise Vergleich. Nähere Informationen zur Durchführung können beispielsweise EVERSHEIM & SCHUH (1996) entnommen werden.

4.2.4 Inhalte der Produktinformationsdatenbasis

Die Produktinformationsdatenbasis (PIDB) dient zur Aufnahme sämtlicher Informationen, die für die Bestimmung des Aufwandswertes eines Montageprozesses für ein spezielles Produkt erforderlich sind. Hierbei handelt es sich um die bereits vorgestellten Kriterien mit ihrer Ausprägung sowie die Stückzahlen, Losgrößen und der Lebenszyklus des Produktes.

Neben den Informationen, die für die Bestimmung des Aufwandswertes notwendig sind, enthält die PIDB zusätzlich noch die im folgenden aufgeführten Informationen (Abbildung 4.2).

- Name und Sachnummer des Produktes
- Name und Sachnummer des Fügebauteils
- Name und Sachnummer des Basisbauteils
- Bearbeiter der Bewertung
- Erstell- und gegebenenfalls Aktualisierungsdatum
- Name, Nummer und ggf. verbale Beschreibung des Arbeitsvorgangs

Nach der durchgeführten Bestimmung der Aufwandswerte werden auch diese zusammen mit ihren jeweiligen Schwellwerten in der PIDB abgelegt.

Sofern ein bereits realisierter Montageprozess analysiert wird, so können außerdem noch folgende weitere Informationen in die PIDB integriert werden.

- Anzahl gleicher Arbeitsplätze und Stückzahl pro Arbeitsplatz
- Ausführungszeit für den Montageprozess und Taktzeit des Montagesystems
- Eingesetzte Vorrichtungen mit Name und Nummer
- Montageart des analysierten Vorgangs
- Ordnungszustand der Bauteilbereitstellung
- Eingesetzte Funktionsträger, sofern bekannt mit zugehörigen Kosten

Alle Informationen, die in der Produktinformationsdatenbasis (PIDB) abgelegt werden, sind genau einem Produkt zugeordnet.

Winkelschleifer		Sachnummer: 12345678	
Fügebauteil			
Name:		Bolzen	
Sachnummer:		98765	
Basisbauteil:			
Name:		Getriebegehäuse	
Sachnummer:		56789	
Stückzahl:		320.000	
Losgröße:		1000	
Lebenszyklus:		4	
Ausprägung der Bewertungskriterien			
Bearbeiter:		Meier	
Erstelldatum:		05.03.2000	
Aktualisierungsdatum:		18.04.2001	
AFO Nummer:		004	
Beschreibung:		Einschieben Bolzen in Getriebegehäuse	
Bereits bestehendes System?			
ja: (Nummer des Systems)		nein:	
Aufwandswert			
Montageprozess:	1,3	Schwellwert 1,55	
Handhabung:	1,5		
Fügen:	1,35		

Struktur_PIDB.dsf

Abbildung 4.2: Inhalte der Produktinformationsdatenbasis

4.2.5 Inhalte der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis

In der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis sind die Informationen aus der Produktinformationsdatenbasis ergänzt um Informationen zur Lösung des jeweiligen

Montageprozessen enthalten. Allerdings erfolgt in der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis keine Zuordnung über das Produkt, sondern über das entsprechende Fügebauteil (Abbildung 4.3). Dadurch kann auch ein produktneutraler Vergleich von Montageprozessen durchgeführt werden, d.h. dass beispielsweise bei der Betrachtung der Gehäuseverschraubung für eine Bohrmaschine auch die Gehäuseverschraubungen von anderen Produkten bei diesem Vergleich berücksichtigt werden können.

Dichtscheibe
Getriebegehäuse
Druckfeder
Druckknopf
Nadellager
Schraube
Mutter
Bolzen Sachnummer: 98765
Produktname: Winkelschleifer
Sachnummer: 12345678
Basisbauteil:
Name: Getriebegehäuse
Sachnummer: 56789
Stückzahl: 320.000 Losgröße: 1000
Lebenszyklus: 4
Ausprägung der Bewertungskriterien
Aktualisierungsdatum: 18.04.2001
Beschreibung: Einschieben Bolzen in Getriebegehäuse
Aufwandswert Schwellwert
Montageprozess: 1,3 1,55
Handhabung: 1,5 1,55
Fügen: 1,35 1,55
Montageart:
manuell teilautomatisiert automatisiert
Eingesetzte Funktionsträger:
Bezeichnung: Roboter
Kosten: 60.000€
.....
Struktur_VLDB.dsf

Abbildung 4.3: Inhalte der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis

4.2.6 Struktur der Datenbasis

Für das Design von relationalen Datenbanken wird u.a. das sogenannte Entity Relationship (ER) Modell verwendet [SAUER 1995, RRZN 1999]. Dabei werden entsprechende Hauptgruppen identifiziert und zu sog. Entities mit entsprechenden Attributen zusammengefasst. Anschließend werden die Beziehungen der Entities untereinander erarbeitet. Für die in den vorhergehenden Kapiteln vorgeschlagenen Datenbasen lassen die Hauptgruppen Funktionsträger, Fügebauteil, Basisbauteil, Produkt, Fügeprozess sowie Systeminformationen eines eventuell vorhandenen Systems als Entities angeben (Abbildung 4.5). Die Struktur der Datenbasis ist in Abbildung 4.6 dargestellt.

Für die Darstellung der Entities werden Rechtecke verwendet, die Attribute der Entities sind in abgerundeten Rechtecken dargestellt. Die Beziehungen werden durch Verbindungslinien zwischen den Entities dargestellt wobei auf den Verbindungslinien so genannte Mitgliedschaftsintervalle angegeben sind (Abbildung 4.4). Diese ermöglichen eine genauere Darstellung der Beziehung zwischen den Entities und erleichtern die Identifikation von Schlüsselkandidaten und Fremdschlüsselbeziehungen sowie die Aufteilung der Datenbasis in entsprechende Tabellen [KERN BAUSCH & JECKLE 2000].

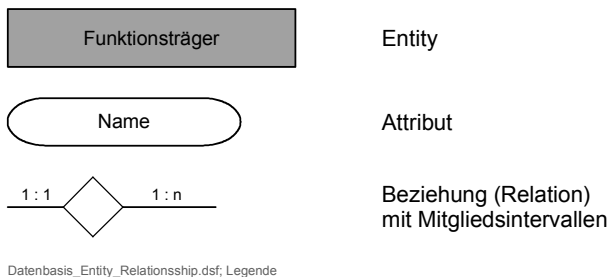


Abbildung 4.4: Notation des ER-Modells (nach KERN BAUSCH & JECKLE 2000)

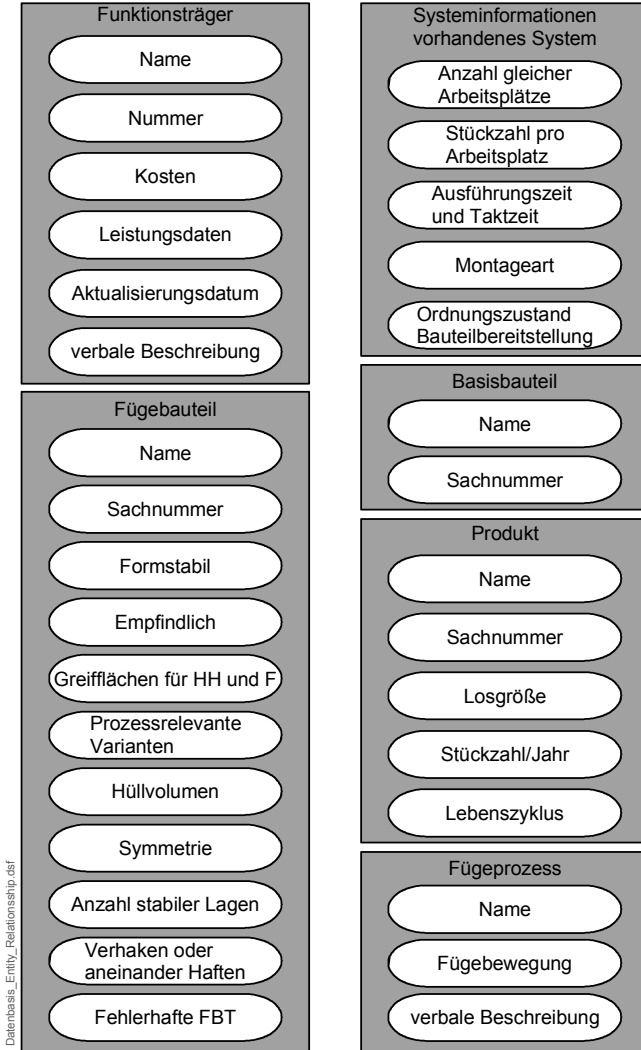
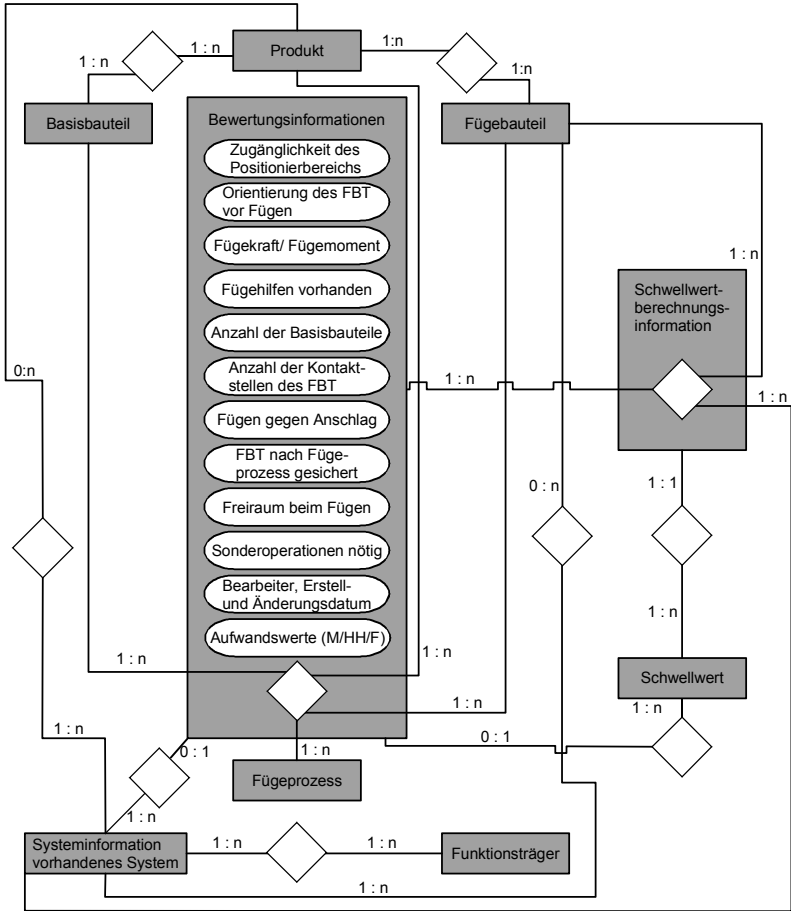


Abbildung 4.5: Entities der PIDB und der VLDB

4 Ausarbeitung der Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades



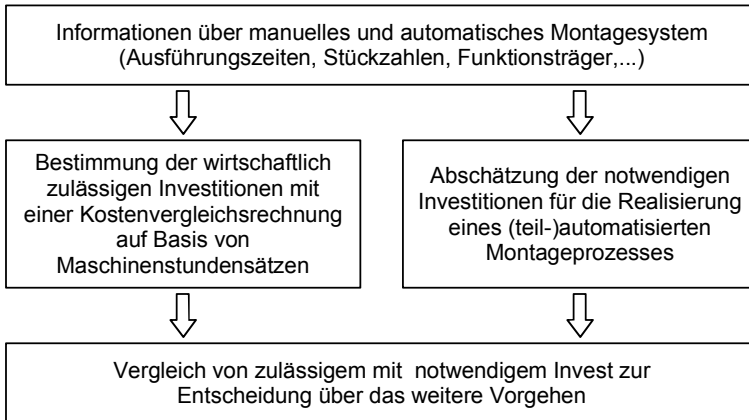
Datenbasis_Entity_Relationship.dsf

Abbildung 4.6: Struktur der Datenbasis (Entity Relationship Modell nach KERN BAUSCH & JECKLE 2000)

4.3 Monetäre Bewertung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen

4.3.1 Ablauf der monetären Bewertung

Für die Montageprozesse, bei denen die technische Bewertung Automatisierungspotential ergeben hat, wird mindestens ein manuelles und ein automatisiertes Montagesystem weiter detailliert. Hierbei ergeben sich die Informationen, die für die monetäre Bewertung erforderlich sind, wie z.B. Ausführungszeiten, Stückzahlen oder Funktionsträger. Auf Basis dieser Informationen werden die für eine automatisierte Lösung wirtschaftlich zulässigen und die mindestens notwendigen Investitionen ermittelt (Abbildung 4.7).



Ablauf_monetaere_Bewertung.dsf

Abbildung 4.7: Ablauf der monetären Bewertung

Das Ergebnis des anschließenden Vergleiches ist eine Entscheidung über das weitere Vorgehen. Wenn das abgeschätzte *zulässige Investitionsvolumen* größer ist als das im Rahmen der Detaillierung ermittelte *notwendige Investitionsvolumen* für die automatisierte Lösung, so ist bei einer automatisierten Lösung Wirtschaftlichkeit zu erwarten. Es kann eine weitere Detaillierung sowie eine prozessübergreifende Betrachtung erfolgen. Ergibt sich bei diesem Vergleich ein deutlicher Vorteil für die manuelle Variante, so wird diese entsprechend weiter

verfolgt. Bei nahezu gleichen Investitionen muss nach einer weiteren Detaillierung eine durch Nutzwert- und Sensitivitätsanalysen ergänzte Kostenrechnung die Entscheidung herbeiführen.

4.3.2 Bestimmung der zulässigen Investitionen für eine automatisierte Montagesystemlösung

Zur Abschätzung der wirtschaftlich zulässigen Investitionen in der Automatisierungstechnik werden zunächst die Kosten der manuellen und der automatischen Montage für einen festgelegten Betrachtungszeitraum, z.B. ein Jahr, bestimmt. Anschließend erfolgt ein Gleichsetzen der Kosten für ein manuelles und ein automatisches Montagesystem. Durch Auflösen der Gleichung nach I_{aut} wird der zulässige Invest bei gleichen Stückkosten bestimmt. Sofern man in die Formel zur Bestimmung von I_{aut} die vorgegebene Amortisationszeit statt der Abschreibungszeit einsetzt, erhält man als Ergebnis die wirtschaftlich zulässigen Investitionen unter Berücksichtigung der Amortisationszeit.

Kosten einer manuellen Montage

Der Maschinenstundensatz eines manuellen Montagesystems setzt sich aus den folgenden Bestandteilen zusammen.

$K_{MH,man}$ = Montage-Mitarbeiterstundensatz + kalkulatorische Abschreibung + kalkulatorische Zinsen +
Instandhaltungskosten

$$K_{MH,man} = w \cdot K_L + \frac{I_{man}}{T_{AB} \cdot T_N} + \frac{I_{man} \cdot z}{2 \cdot T_N} + \frac{I_{man} \cdot i}{T_N} \left[\frac{\text{€}}{\text{h}} \right]$$

Gleichung 4-3: Maschinenstundensatz

Energie-, Raum- und Werkzeugkosten werden bei dieser Abschätzung vernachlässigt.

Unter der Annahme, dass Investitionen nur für eine Produktgruppe einsetzbar sind ergibt sich die Nutzungszeit T_N [h/a] der Investitionen I_{man} durch die Anzahl der pro Jahr montierten Produkte n [Stück] multipliziert mit der notwendigen Montagezeit t_{man} [s/Stück].

$$T_N(I_{man}) = \frac{n \cdot t_{man}}{3600} \left[\frac{\text{h}}{\text{a}} \right]$$

Gleichung 4-4: Nutzungszeit für Investitionen für eine manuelle Montage

Die Stückkosten für die manuelle Montage eines Produktes ergeben sich aus der notwendigen Montagezeit t_{man} [s/Stück] multipliziert mit dem Maschinenstundensatz $K_{MH,man}$ [€/h]. Die Bestimmung der manuellen Montagezeit kann hierbei mittels verschiedener Methoden erfolgen (Ist-Zeiterfassung bei bereits vorliegender manueller Montage/ Soll-Zeitbestimmung durch Schätzen und Vergleichen, SvZ, Planzeiten). Bei allen Methoden zur Bestimmung der manuellen Montagezeit ist eine ungefähre Vorstellung von einem Layout der Montagestation notwendig.

$$K_{St,man} = \frac{t_{man}}{3600} \cdot K_{MH,man} = \frac{t_{man}}{3600} \cdot w \cdot K_L + \frac{I_{man}}{T_{AB} \cdot n} + \frac{I_{man} \cdot z}{2 \cdot n} + \frac{I_{man} \cdot i}{n} \quad [\text{€/Stück}]$$

Gleichung 4-5: Stückkosten bei der manuellen Montage

Die Montagekosten eines Jahres lassen sich demnach berechnen aus der geplanten oder montierten Stückzahl n multipliziert mit den Stückkosten $K_{St,man}$.

$$K_{man} = n \cdot K_{St,man} = \frac{n \cdot w \cdot t_{man} \cdot K_L}{3600} + \frac{I_{man}}{T_{AB}} + \frac{I_{man} \cdot z}{2} + I_{man} \cdot i \quad [\text{€/Jahr}]$$

Gleichung 4-6: Montagekosten pro Jahr bei manueller Montage

Kosten einer automatischen Montage

Der Maschinenstundensatz ($K_{MH,aut}$) eines automatischen Montagesystems ergibt sich wie folgt.

$K_{MH,aut}$ = anteilige Bedienerkosten (zur Störungsbehebung) + kalkulatorische Abschreibung + kalkulatorische Zinsen + Instandhaltungskosten

$$K_{MH,aut} = b \cdot K_L + \frac{I_{aut}}{T_{AB} \cdot T_N} + \frac{I_{aut} \cdot z}{2 \cdot T_N} + \frac{I_{aut} \cdot i}{T_N} \quad [\text{€/h}]$$

Gleichung 4-7: Maschinenstundensatz eines automatischen Montagesystems

Hierbei werden, wie auch schon bei den Kosten für die manuelle Montage, die Kosten für Energie, Raum und Werkzeug vernachlässigt. In den Kosten für die automatische Montage ist jedoch ein anteiliger Bediener b [%] zur Behebung von Störungen, zum Nachfüllen von Bauteilen und zur Betreuung der Anlage eingerechnet.

Die Nutzungszeit der Investitionen T_N [h/a] ist bestimmt durch die Anzahl der pro Jahr montierten Produkte n [Stück/a] mal der notwendigen Montagezeit t_{aut} [s/Stück]. Diese Annahme geht davon aus, dass Investitionen nur für eine Produktgruppe genutzt werden. Sofern noch keine Prozesszeit t_{aut} für die automatisierte Ausführung des Montageprozesses bestimmt worden ist, kann sie in erster Näherung mit ca. 75% der Prozesszeit einer manuellen Ausführung t_{man} des Montageprozesses angenommen werden [KONOLD & REGER 1997, S. 106].

$$T_N(I_{aut}) = \frac{n \cdot t_{aut}}{3600} \quad [\text{h/a}]$$

Gleichung 4-8: Nutzungszeit der Investitionen für eine automatische Montage

Analog zur Berechnung der manuellen Montagekosten ergeben sich die Kosten eines automatisierten Systems pro Jahr zu:

$$K_{aut} = \frac{n \cdot t_{aut} \cdot b \cdot K_L}{3600} + \frac{I_{aut}}{T_{AB}} + \frac{I_{aut} \cdot z}{2} + I_{aut} \cdot i \quad [\text{€/a}]$$

Gleichung 4-9: Montagekosten pro Jahr bei automatisierter Montage

Kostenvergleichsrechnung

Werden mit einer automatischen und einer manuellen Montageanlage gleiche Stückzahlen produziert, so sind die Stückkosten dann identisch, wenn die anfallenden Kosten beider Anlagen gleich hoch sind (Gleichung 4-10).

$$K_{aut} = K_{man}$$

Gleichung 4-10: Kostenvergleich automatisch mit manuell

Setzt man die Kosten für eine manuelle Montage (Gleichung 4-6) und eine automatische Montage (Gleichung 4-9) in (Gleichung 4-10) ein und löst nach I_{aut} auf, so ergeben sich die zulässigen Investitionen in Automatisierungstechnik zu:

$$I_{aut} = \frac{n \cdot K_L \cdot (w \cdot t_{man} - b \cdot t_{aut})}{3600 \cdot \left(\frac{1}{T_{AB}} + \frac{z}{2} + i \right)} + I_{man}$$

Gleichung 4-11: Zulässige Investitionen bei Abschreibung

Die Gleichung 4-11 geht jedoch davon aus, dass die Amortisation der Anlage über die Abschreibungsdauer erfolgt. Sofern die Abschreibungsdauer anders ist, als die Amortisationszeit, so ist für die Bestimmung der wirtschaftlich zulässigen Investitionen die Amortisationszeit einzusetzen. Man erhält dann die folgende Formel:

$$I_{aut} = \frac{n \cdot K_L \cdot (w \cdot t_{man} - b \cdot t_{aut})}{3600 \cdot \left(\frac{1}{T_{AM}} + \frac{z}{2} + i \right)} + I_{man}$$

Gleichung 4-12: Zulässige Investitionen bei Amortisation

Sensitivitätsanalyse

Um die Auswirkung durch Veränderung einzelner Parameter auf das zulässige Investitionsvolumen zu bestimmen, wurden die einzelnen Parameter der Gleichung 4-12 variiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.23 und Abbildung 4.8 dargestellt.

	Anzahl zu ersetzender Werker (100% = 1)	manuelle Montagezeit (100% = 20 s/Stück)	Stückzahl (100% = 100.000 Stück/a)	Lohnkosten (100% = 40 €/h)	beide Montagezeiten (100% = 20 s/Stück)	Anteiliger Bediener (100% = 50 %)	automatisierte Montagezeit (100% = 20 s/Stück)	Amortisationszeit (100% = 2 a)	Instandhaltungskostensatz (100% = 10 %/a)	Zinssatz (100% = 10 %/a)
Parameteränderung	25%									
Auswirkung auf Invest	-50%	-50%	25%	25%	25%	175%	175%	30%	113%	106%
Parameteränderung	50%									
Auswirkung auf Invest	0%	0%	50%	50%	50%	150%	150%	57%	108%	104%
Parameteränderung	100%									
Auswirkung auf Invest	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Parameteränderung	150%									
Auswirkung auf Invest	200%	200%	150%	150%	150%	50%	50%	134%	93%	96%
Parameteränderung	200%									
Auswirkung auf Invest	300%	300%	200%	200%	200%	0%	0%	163%	87%	93%

Tabelle 4.23: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse zeigt auf, dass die Anzahl der zu ersetzenden Werker sowie die manuelle Montagezeit einen überproportionalen Einfluss auf das Ergebnis der Berechnung haben. Ein linearer Zusammenhang kann zwischen der Stückzahl, den Lohnkosten, der Variation beider Montagezeiten, dem anteiligen

4.3 Monetäre Bewertung der Automatisierbarkeit von Montageprozessen

Bediener sowie der automatischen Montagezeit und dem Berechnungsergebnis hergestellt werden. Eine etwas geringere Auswirkung hat die Variation der Amortisationszeit. Schwankungen der Zahlen in diesen Bereichen haben also einen großen Einfluss auf das Ergebnis. Eine Variation von Zinssatz und Instandhaltungskostenprozentsatz beeinflusst das Ergebnis kaum.

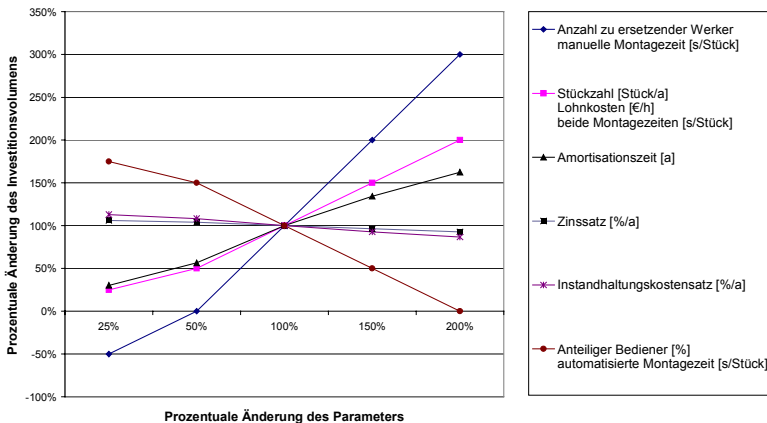


Abbildung 4.8: Graphische Darstellung Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

4.3.3 Bestimmung der Mindestkosten einer automatisierten Lösung

Grundsätzlich ist für die Bestimmung von Mindestkosten der Weg eines Bauteiles innerhalb des Montagesystems zu betrachten. Dieser verläuft vom Bauteilspeicher über das Ordnen und Vereinzeln hin zum Positionieren und Fügen. Für jede notwendige Teilfunktion sind geeignete Funktionsträger mit ihren jeweiligen Kosten zu bestimmen und zuzuordnen. Anhand der zugeordneten Funktionsträger kann im nächsten Schritt eine grobe Abschätzung des mindestens notwendigen Investitionsvolumens sowie eine grobe Abschätzung der Montagezeit erfolgen.

Als mögliche Quellen für Funktionsträger und deren Kosten können entweder Erfahrungen aus bereits realisierten Prozesssystemlösungen oder Richtpreise bzw. Kataloge von Herstellern dienen.

4.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montagesystemplanung mit den beiden Schritten technische und monetäre Bewertung weiter detailliert.

Für die im ersten Schritt erforderliche technische Bewertung wurde die Vorgehensweise zur Bestimmung des Aufwandswertes erläutert. Anschließend wurden Kriterien vorgestellt, mit Ausprägungen versehen und ihr Einfluss auf den Aufwandswert in den Bereichen Handhabung und Fügen ermittelt. Die Definition der Inhalte von Produktinformations- sowie Vergleichs- und Lösungsdatenbasis bildet den Abschluss des ersten Schrittes.

Im zweiten Schritt erfolgt die monetäre Bewertung, deren Ablauf dargestellt wurde. Für die Bestimmung der zulässigen Investitionen wurde eine Vorgehensweise vorgeschlagen, die auf einem Vergleich der Kosten eines manuellen und eines automatisierten Systems beruht. Die notwendigen Investitionen ergeben sich aus der Detaillierung des automatisierten Montagesystems. Ein Vergleich der beiden Investitionssummen ermöglicht eine Entscheidung über das weitere Vorgehen bei der Montagesystemplanung.

5 Praktische Anwendung der Methode

5.1 Übersicht

In diesem Kapitel wird die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellte Methode an zwei verschiedenen Anwendungsbeispielen vorgestellt. Zum einen wird die Untersuchung einer bereits bestehenden manuellen Montagelinie bei einem Hersteller von Elektrokleingeräten beschrieben. Hier sollte Automatisierungspotential identifiziert werden (Kapitel 5.2, Abbildung 5.1). Zum anderen wird die Methode bei der Neuplanung einer Montagelinie für Servomotoren eingesetzt. Ziel war es hier, die Montageprozesse mit einem geringen Automatisierungsaufwand zu identifizieren (Kapitel 5.3, Abbildung 5.2). Auf Basis der bei der praktischen Anwendung der Methode gesammelten Erfahrung wurde zur Entlastung des Planers von Routinetätigkeiten, wie beispielsweise die Bestimmung des Aufwandswertes, das Rechnerwerkzeug RUMBA entwickelt (Kapitel 5.4).



Abbildung 5.1: Winkelschleifer und Bauteile des Getriebegehäuses

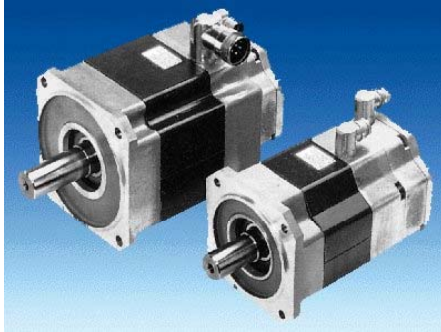
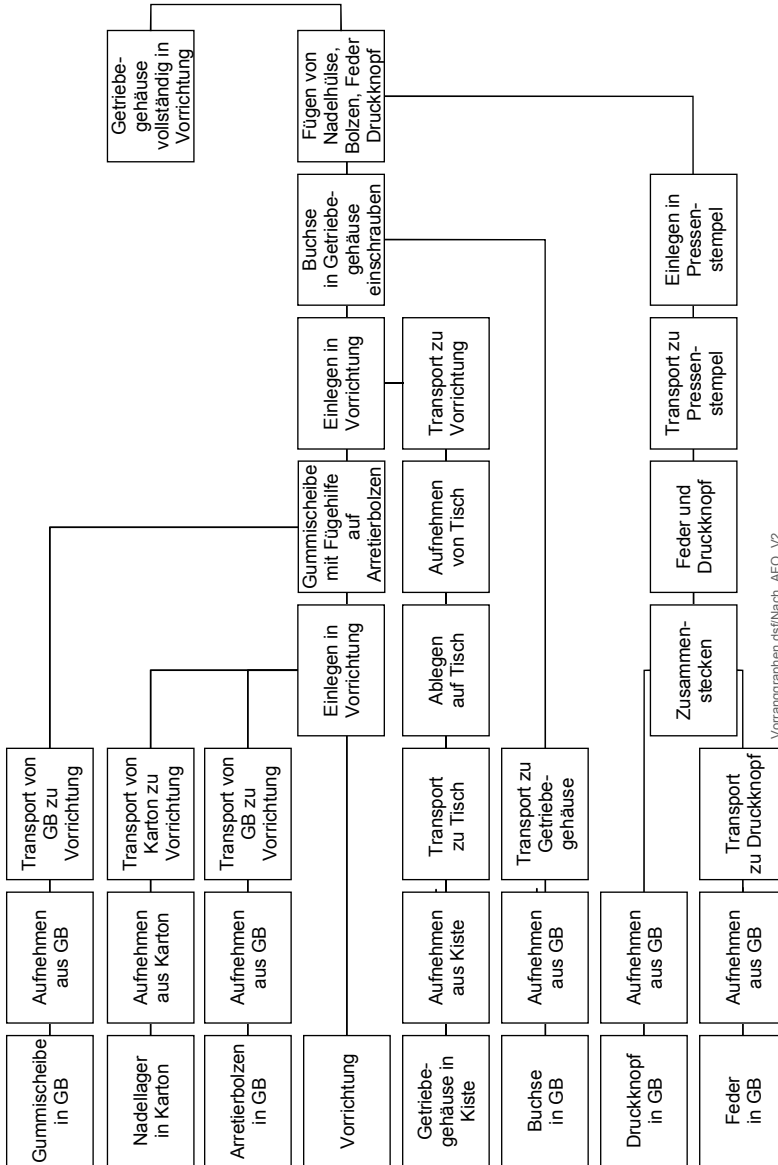


Abbildung 5.2: Zwei Varianten des Servomotors

5.2 Anwendung der Methode bei vorhandenen manuellen Montagesystemen

Als ein Beispiel für die Anwendung der erarbeiteten Methode dient eine bereits realisierte Montage bei einem Hersteller von Elektrokleingeräten. Ziel der Untersuchungen war, die vorhandenen Montagelinien auf Potential zur Automatisierung zu überprüfen. Analysiert und bewertet wurde u.a. die Montage eines Einhandwinkelschleifers. Im Rahmen dieser Arbeit soll beispielhaft die Bewertung der Montage des Getriebegehäuses vorgestellt werden. Der Montagevorranggraph ist in Abbildung 5.3 dargestellt. Die produzierte Stückzahl des Winkelschleifers beträgt 380.000 Stück pro Jahr. Für diese Jahresstückzahl werden derzeit 4 Linien benötigt. Die Losgröße liegt bei ca. 5.000 und die Produktion ist noch über weitere 5 Jahre geplant.



Vorranggraphen.dsf/Nach_AFO_V2

Abbildung 5.3: Vorranggraph für die Montage des Getriebegehäuses

Vorbereitung der Bewertung

Gemeinsam mit dem Hersteller der Elektrokleingeräte wurden die erarbeiteten Kriterien mittels paarweisem Vergleich gewichtet. Als Grundlage für die Bewertung der Montageprozesse des Winkelschleifers wurden im Unternehmen manuelle und automatisierte Montageprozesse untersucht und in die Vergleichs- und Lösungsdatenbasis (VLDB) aufgenommen. Nach dem Füllen der VLDB wurde die Bewertung des Getriebegehäuses durchgeführt und die Ergebnisse anhand der aufgenommenen Werte eingeordnet. Der erfahrungsbasierte Schwellwert liegt für die Automatisierbarkeit von Montage-, Handhabungs- und Fügeprozessen jeweils bei 1,55.

Erfassung des Ist-Ablaufes der Montage des Getriebegehäuses

In eine Vorrichtung werden zunächst der Arretierbolzen und ein Nadellager eingelegt (Abbildung 5.3). Anschließend wird mit einer externen Fügehilfe eine Gummischeibe zur Abdichtung über den Arretierbolzen geschoben. Danach kann das Getriebegehäuse über den Arretierbolzen und das Nadellager auf die Vorrichtung gelegt werden. Zwischen den Arretierbolzen und das Getriebegehäuse wird dann eine Schraubbuchse mit Hilfe eines Schraubers eingedreht. Schließlich wird eine Druckfeder auf einen Druckknopf vormontiert und diese Baugruppe anschließend an einen Pressenstempel gesteckt. Durch das Schließen der Presse wird der Druckknopf mit dem Arretierbolzen verpresst und das Nadellager in das Getriebegehäuse eingedrückt. Zum Schluss wird das vollständige Getriebegehäuse aus der Vorrichtung entnommen und auf eine Rutsche für die weitere Montage abgelegt.

Bewertung auf Automatisierungspotential

Anhand der Bewertung können die Montageschritte „Gummischeibe auf Arretierbolzen schieben“ und „Feder auf Druckknopf aufstecken“ in keinem der drei Bereiche Montageprozess, Handhabung und Fügen automatisiert durchgeführt werden. Beim Einlegen der Baugruppe Feder und Knopf in den Pressenstempel und beim Verpressen der Baugruppe mit dem Arretierbolzen sind der Montageprozess und die Handhabung nicht automatisiert realisierbar, theoretisch wäre jedoch eine Teilautomatisierung des Fügens denkbar. Somit können von den vorhandenen neun Montageprozessen bereits vier von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

Bewertungsergebnisse	Montageprozess	Handhabung	Fügen
Arretierbolzen in Vorrichtung einlegen	1,28	1,27	1,14
Nadellager in Vorrichtung einlegen	1,37	1,44	1,29
Gummischeibe auf Arretierbolzen aufchieben	1,82	1,98	1,88
Getriebegehäuse von Tisch in Vorrichtung einsetzen	1,48	1,48	1,40
Schraubbuchse in Getriebegehäuse eindrehen	1,55	1,44	1,54
Feder auf Druckknopf aufstecken	1,74	1,91	1,72
BG Feder und Knopf in Pressenstempel einlegen	1,69	1,86	1,51
Verpressen von Knopf mit Arretierbolzen	1,73	1,86	1,55
Gehäuse komplett in Rutsche legen	1,48	1,48	1,40

Tabelle 5.1: Bewertungsergebnisse für das Getriebegehäuse des Winkelschleifers

Für die verbleibenden fünf Prozesse werden auf Basis der vorliegenden Montagezeiten aus dem vorhandenen System die zulässigen Investitionen ermittelt (Tabelle 5.2).

	Gesamtzeit (Sekunden)	zulässiger Invest
Arretierbolzen aus GB in Vorrichtung einsetzen	2,58	3100 €
Nadellager aus Karton in Vorrichtung einsetzen	2,58	3100 €
Getriebegehäuse aus Vorrichtung aufnehmen und in Rutsche ablegen	2,64	3260 €
Getriebegehäuse von Tisch aufnehmen und in Vorrichtung einsetzen	4,3	8660 €
Buchse aus Greifbehälter aufnehmen und mit Schrauber in Getriebegehäuse einschrauben	6,12	17550 €

Tabelle 5.2: Aus manueller Montagezeit bestimmtes zulässiges Investitionsvolumen

Eine Automatisierung ist bei einem Investitionsvolumen von 3.200 € für die Montageprozesse Arretierbolzen und Nadellager in Vorrichtung einsetzen sowie Getriebegehäuse aus Vorrichtung in Rutsche ablegen bei einem bereits bestehenden Montagesystem nicht wirtschaftlich zu realisieren. Auch die Handhabung

des Getriebegehäuses für alle vier Linien lässt trotz eines zulässigen Investitionsvolumens von 11.920 € (= 8660 € + 3260 €) eine wirtschaftliche Automatisierung nicht erwarten. Sofern es gelingt, den Materialfluss für alle vier Montagelinien über eine vorgelagerte Station abzuwickeln, in der ein Schraubautomat mit Vibrationswendelförderer die Buchse in das Getriebegehäuse verschraubt, so ist diese Lösung voraussichtlich wirtschaftlich realisierbar. Ein Schrauber mit Vibrationswendelförderer kostet nach Herstellerangaben zwischen 16.000 € und 18.000 €, das zulässige Investitionsvolumen beträgt 17.550 €. Da jedoch die Umstrukturierung der Linie für den Hersteller einen sehr hohen Aufwand bei geringer Einsparung bedeutet hätte, wurde die automatisierte Lösung in diesem Fall nicht realisiert.

Zusammenfassung

Der Hersteller von Elektrokleingeräten konnte mit Hilfe der Methode schnell die derzeit realisierten Montageprozesse auf Automatisierungspotential untersuchen. Bei der Bewertung der Montage des Getriebegehäuses für den Winkelschleifer konnten von 27 vorliegenden Montage-, Handhabungs- und Fügeprozessen nach der technischen Bewertung bereits 10 (ca. 38%) von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden. Für die restlichen Prozesse wurde die Bestimmung der zulässigen Investitionen für eine Automatisierung der Montageprozesse durchgeführt. Dies führte dazu, dass von den verbleibenden 17 Prozessen bei einer Modifikation der Struktur des Montagesystems noch 3 als wirtschaftlich automatisierbar identifiziert worden sind. Insgesamt wurde eine Reduzierung der hinsichtlich Automatisierung näher zu untersuchenden Prozesse um fast 90% erreicht.

5.3 Anwendung der Methode bei der Neuplanung von Montagesystemen

Bei einem Hersteller von Servomotoren sollte eine derzeit laufende Produktlinie durch eine neue Entwicklung ersetzt werden. Für diese neue Entwicklung musste auch das Montagesystem neu geplant werden. Bei der Planung kam die vorgestellte Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades zum Einsatz. Zur Vorbereitung der Bewertung wurden in Zusammenarbeit mit dem Hersteller die Kriterien gewichtet. Ein Füllen der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis mit Werten erfolgte nicht, da aufgrund der Vielzahl von bewerteten Montageprozessen eine relative Einordnung möglich war.

Folgender grober Montageablauf wurde in Anlehnung an die bisherige Produktlinie festgelegt (Abbildung 5.4). Zunächst werden Stator und Rotor vorgefertigt und anschließend montiert. Im folgenden Schritt werden Rotor und Stator zusammengesetzt um dann durch die mechanische und die elektrische Prüfung zu gehen. Zum Schluss erfolgt die Lackierung und Verpackung der fertiggestellten Motoren. Die Lackierung und Verpackung wurden im Rahmen des Projektes nicht detailliert betrachtet.

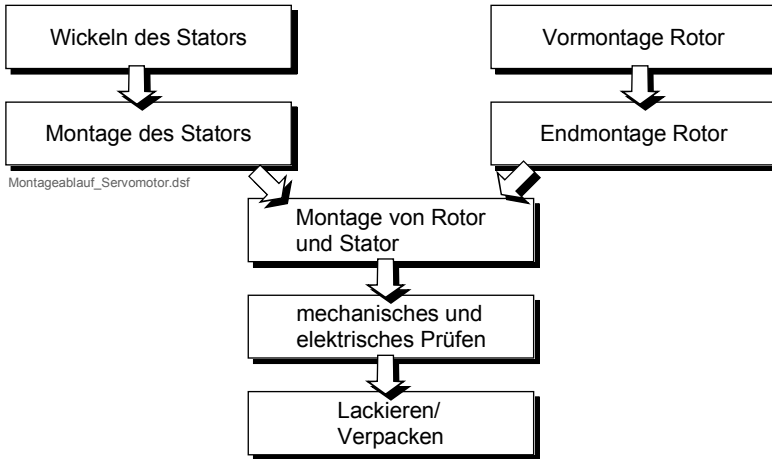


Abbildung 5.4: Montageablauf des Servomotors

Zu Beginn erfolgte eine detaillierte Ist-Analyse der bisherigen Montage der Servomotoren und des neuen Servomotors. Das Ergebnis ist eine Produkt- und Prozessanalyse und eine Darstellung der allgemeinen Produktions- und Absatzsituation für die neue Generation der Servomotoren. Der Lebenszyklus des neuen Servomotors nach seiner Einführung wird 10 Jahre betragen und die Stückzahl pro Jahr liegt bei ca. 320.000. Ein Montagevorranggraph des neuen Servomotors ist in Abbildung 5.5 dargestellt.

Ein weiteres Ergebnis der Analyse war die Anzahl der Variantenbauteile für die einzelnen Montageprozesse (Abbildung 5.6).

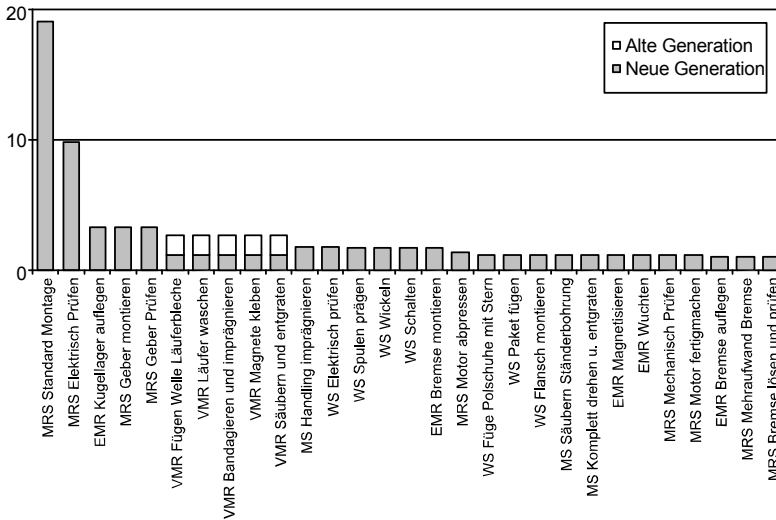


Abbildung 5.6: Prozessrelevante Fügebauteile des Servomotors

Im nächsten Schritt wurden alle Montageprozesse für die Servomotoren auf ihre technische Automatisierbarkeit hin bewertet. Das Ergebnis ist Abbildung 5.7 zu entnehmen.

Deutlich zu erkennen ist ein geringer technischer Automatisierungsaufwand in den Bereichen Montage der Spulenkörper und beim Fügen des Stern-Joch-Paketes (Anfang von WS, siehe auch Detailbewertungen in Tabelle 5.3). Der Bereich der Verdrahtung der Statorwicklungen in der Wickelzelle ist bei den heutigen Bauteilen nur mit hohem Aufwand zu automatisieren. Hier sollten längerfristig Änderungen an der Produktgestaltung überlegt werden. Die Gehäuseendbearbeitung in der Montagezelle für die Statoren (MS) ist heute schon weitgehend automatisiert, die manuelle Vor- bzw. Nachbearbeitung (z.B. Entgraten) hingegen wird auch zukünftig nicht zu automatisieren sein. Ziel hier ist die Vermeidung dieser Schritte. Sehr gut automatisierbar sind auch die Montageschritte im Bereich der Vormontage der Rotoren (VMR). In der Rotorendmontage

(EMR) sind zwei Montageschritte nur mit einem sehr hohen Aufwand zu automatisieren. Geringes Potential ergibt sich in den Bereichen der Montage von Rotor und Ständer (MRS) und sowie beim Prüfen (P) auch aufgrund der hier vorliegenden hohen Varianz der Fügebauteile.

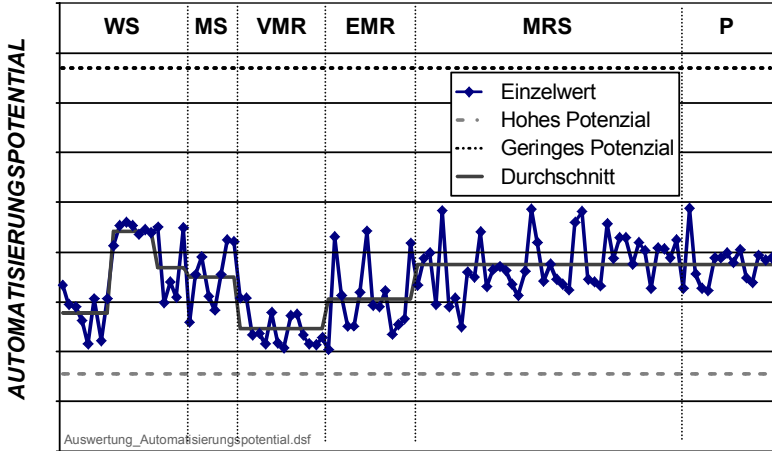


Abbildung 5.7: Bewertung der Einzelprozesse des Servomotors auf Automatisierbarkeit

	Handhaben	Fügen	Montageprozess
WS Prägen	2,36	2,07	2,07
WS Ablängen beider Drähte mit Seitenschneider	1,87	1,9	2,03
WS Wickeln des Spulenkörpers	1,99	1,48	1,79
WS Aufsetzen des Käfigs über gefügten Stern	1,71	1,57	1,81
WS Schließen der Wickelmaschine	1,41	1,42	1,50
WS Aufpressen des Jochpakets auf den Stern	1,69	1,45	1,80
WS Öffnen der Schutztür	1,61	1,36	1,99
WS Aufsetzen der Schutzkappe	2,15	1,73	1,79

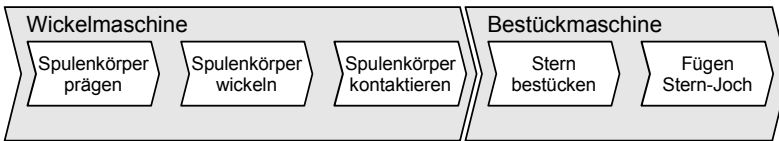
Tabelle 5.3: Einzelbewertung der Prozesse für das Spulwickeln

Im weiteren Vorgehen wurde in den Bereichen, in denen die technische Bewertung Automatisierungspotential ergeben hat, entsprechende Konzepte für eine automatisierte Lösung der Montageprozesse erarbeitet. Im Folgenden soll dies exemplarisch am Beispiel der automatisierten Montage der Spulenkörper dargestellt werden.

Die erste Variante für die Montage der Spulen sieht vor, die Einzelprozesse Spule prägen, wickeln und kontaktieren in eine Maschine zu integrieren. Ebenfalls zu einer Maschine zusammengefasst werden die Prozesse Stern bestücken und Fügen des Stern-Joch-Pakets. Als weitere Variante wurde die Integration aller fünf Einzelprozesse in eine Gesamtmaschine entwickelt (Abbildung 5.8).

Variante 1:

Varianten_Spulenkoerper.dsf



Variante 2:

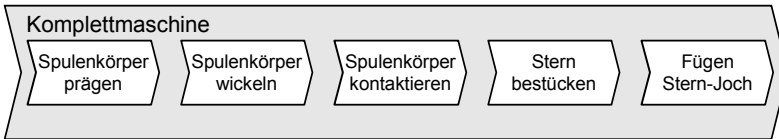


Abbildung 5.8: Varianten der Montageabläufe für die Spulenkörper

Bei der folgenden Bestimmung der zulässigen Investitionen auf Basis der bisherigen Montagezeiten war es aufgrund der hohen Rüstzeitanteile erforderlich, die in einem Jahr anfallende Rüstzeit bei der Berechnung mit zu berücksichtigen. Die im Kapitel 4.3.2 vorgeschlagene Gleichung wurde daher entsprechend modifiziert.

$$I_{\text{aut}} = \frac{K_L \cdot (n \cdot (w \cdot t_{\text{man}} - b \cdot t_{\text{aut}}) - t_{\text{rüst}})}{3600 \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{AM}}} + \frac{z}{2} + i \right)} + I_{\text{man}}$$

Gleichung 5-1: Modifizierte Gleichung zur Bestimmung des zulässigen Investitionsvolumens

Folgende Werte wurden zur Bestimmung des zulässigen Investitionsvolumens in die Gleichung 5-1 eingesetzt.

	Variante 1	Variante 2
Stückzahl n [Stück/a]	320.000	
Lohnkosten K_L [€/h]	20,81	
Anzahl zu ersetzender Montagemitarbeiter w	1	
manuelle Montagezeit t_{man} [s]	664,8	
Anteiliger Bediener bei automatischer Montage b [%]	1/3	
Amortisationszeit T_{AM} [a]	3	
Kapitalzinssatz z [%/a]	9	
Instandhaltungskostensatz i [%/a]	3	
automatische Montagezeit t_{aut} [s]	400,31	362,81
Rüstzeiten $t_{\text{rüst}}$ [s/a]	9.576.000	9.504.000
Notwendige Investitionen in manuelle Montage I_{man} [T€]	749	818

Tabelle 5.4: Werte zur Bestimmung des zulässigen Investitionsvolumens

Für die Variante 1 ergibt sich ein zulässiges Investitionsvolumen $I_{\text{aut, Variante 1, zulässig}}$ von 3.027 T€, das sich aus den berechneten 2.277 T€ plus notwendiger Investitionen in eine manuelle Montage von 749 T€ zusammensetzt. Die Variante 2 erlaubt ein Investitionsvolumen $I_{\text{aut, Variante 2, zulässig}}$ von 3.152 T€, das sich zusammensetzt aus berechneten 2.334 T€ sowie den notwendigen Investitionen in eine manuelle Montage von 818 T€.

Die bei einer weiteren Detaillierung ermittelten Investitionen für Automaten zur Realisierung der Variante 1 $I_{\text{aut, Variante 1, notwendig}}$ belaufen sich auf 2.775 T€, die für die Realisierung der Variante 2 $I_{\text{aut, Variante 2, notwendig}}$ auf 2.950 T€. Aufgrund der geringeren Komplexität der Variante 1 und der größeren Differenz zwischen $I_{\text{aut, Variante 1, zulässig}}$ und $I_{\text{aut, Variante 1, notwendig}}$ wurde vom Hersteller der Servomotoren die Variante 1 weiter verfolgt.

Zusammenfassung

Bei der Anwendung der Methode im Rahmen der Planung eines Montagesystems für eine neue Generation von Servomotoren wurde keine Vergleichsdatenbasis erstellt. Somit musste der Vergleich der ermittelten Aufwandswerte relativ zueinander erfolgen. Mit Hilfe der zusätzlich bestimmten Varianz in den verschiedenen Montagebereichen konnte auch hier nach der technischen Bewertung eine Reduzierung der hinsichtlich einer Automatisierung näher zu untersuchenden Montageschritte von 36 % (110 auf 70) erreicht werden. Für den beispielhaft betrachteten Bereich der Spulenmontage wurden anschließend zwei mögliche Automatisierungskonzepte erstellt. Die daran angeschlossene monetäre Bewertung wurde zur Auswahl des wirtschaftlicheren Konzeptes genutzt.

5.4 Entwicklung des Rechnerwerkzeuges RUMBA

Basierend auf den bei der Anwendung der Methode gemachten Erfahrungen wurde das Rechnerwerkzeug RUMBA (**R**echnerwerkzeug zur **U**nterstützung der **M**ethode zur **B**ewertung der **A**utomatisierbarkeit) entwickelt. Dieses ermöglicht eine schnelle Eingabe der Bewertungsinformationen und entlastet den Montagesystemplaner von Routinetätigkeiten, wie beispielsweise der Bestimmung des Aufwandswertes oder der Identifikation des Schwellwertes. Die Implementierung erfolgte unter Nutzung des Datenbankprogramms MS-Access, so dass ein normaler PC für den Einsatz von RUMBA ausreichend ist.

Die Kriterien mit ihren Ausprägungen und Gewichtungen sind in einer eigenen Tabelle hinterlegt, so dass eine, unternehmensspezifische Anpassung der Gewichtung, der Ausprägung und den der Ausprägung zugeordneten Werten sehr schnell durchgeführt werden kann. Diese Anpassung ist einmalig zur Vorbereitung der Bewertung durchzuführen.

Für die Auswahl der notwendigen Bewertungsinformationen dienen Auswahlfelder, in denen die Ausprägungen der Kriterien hinterlegt sind (Abbildung 5.9).

Nach der Auswahl der Informationen über das Produkt und den betrachteten Montageprozess kann die Bestimmung der Aufwandswerte für die Montage, die Handhabung und das Fügen durch anklicken der vorgesehenen Schaltfläche automatisiert erfolgen. Die Ausgabe erfolgt in Textfeldern im gleichen Formular. Sofern die Vergleichs- und Lösungsdatenbasis mit Informationen gefüllt ist,

können auch die zugehörigen Schwellwerte automatisiert ermittelt werden. Diese werden neben den Aufwandswerten dargestellt, so dass eine schnelle Bewertung des betrachteten Montageprozesses auf (Teil-)Automatisierbarkeit möglich ist.

The screenshot shows the 'RUMBA Bewertungsinformationen' form in Microsoft Access. The form is divided into several sections:

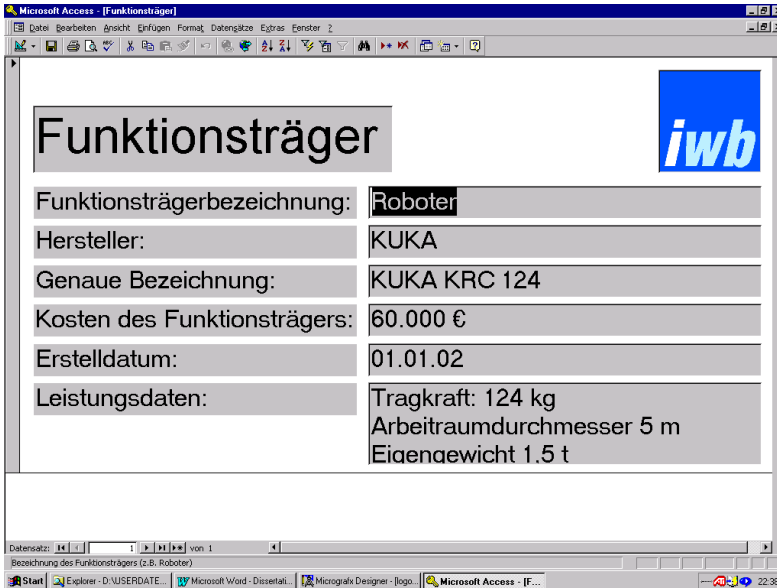
- Product Information:** Produkt: Flöte, Jahresstückzahl: 123, Sachnummer: 1234, Loggröße: 500, Lebenszyklus: 10, Bearbeiter, Erstfeldatum, Aktualisierung.
- Form and Assembly Data:** Name des FBT: fcl2, Name des BBT: xxxx, Sachnummer des FBT: abe 123biu, Formelart: reduziert formelart, Fügeprozess, Bauteil empfindlich: empfindlich, Fügebewegung, Greifflächen für automatisiertes Handhaben: Magnetgreifer, Fugekraft/Fügemoment, Prozessrelevante Bauteilvarianten: keine weitere, Zugänglichkeit des Positionsbereichs, Hilfsvolumen des FBT: Zwei Abmessungen klei, Achsen für Orientierungen, Symmetrie des Bauteils: 1/4tel, Guader, Fügestellen an Bauteilen vorhanden, Anzahl stabile Lagen: mehr als vier, Anzahl der Fügepartner, Freihaken oder aneinander halten: halten/weiklemmen max, Kontaktstellen, Fehlerrate Bauteile, Anschlag, Bereits bestehendes System: nie (33), sehr selten (34), selten (35), häufig (36), auteil nach Fügeprozess gesichert, Form beim Fügen, Sondeoperationen notwendig.
- Evaluation Summary:** Aufwandswert, Schwellwert, Montage, Handhaben, Fügen, Beschreibung des Arbeitsvorgangs.
- Right Sidebar:** Neue Bewertung, Vorige Bewertung, Nächste Bewertung, Aufwandswerte berechnen, Ähnliche Bewertung, Bewertung beenden, Investitionen bestimmen, Systeminfos eingeben.
- Status Bar:** Datensatz: 1 von 10, Formularansicht, Start, Explorer - D:\USERDATE, Microsoft Word - Dissertat..., Micrograf Designer : [RU..., Microsoft Access - [R...

Abbildung 5.9: Auswahl der Bewertungsinformationen über Auswahlfelder

Nach einer weiteren Detaillierung sind die Eingangsgrößen für die Bestimmung der zulässigen Investitionen bekannt. Auch deren Berechnung erfolgt automatisiert und das Ergebnis wird dem entsprechenden Datensatz zugeordnet. Für die Bestimmung der notwendigen Investitionen zur Realisierung einer automatisierten Lösung für den Montageprozess dient zum einen eine Suche nach ähnlichen Montageprozessen in der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis VLDB, zum anderen eine mit der VLDB verknüpfte Datenbank in der die Kosten und die Leistungsdaten verschiedener bereits bei anderen automatisierten Lösungen eingesetzter Funktionsträger abgelegt sind (Abbildung 5.10).

Nach dem Abschluss der Planung und der Realisierung eines Montagesystems werden die Bewertungen mit den dazugehörigen Aufwandswerten und Schwellwerten in die Vergleichs- und Lösungsdatenbasis übertragen. Dort werden sie durch die

realisierte Montageart ergänzt und um die zur Realisierung eingesetzten Funktionsträger erweitert. Dadurch wird die VLDB systematisch erweitert und die getroffene Entscheidung im Zusammenhang mit der realisierten Lösung dokumentiert. Bei den folgenden Planungen kann dann bereits auf ein erheblich größeres Erfahrungswissen zurückgegriffen werden.



The screenshot shows a Microsoft Access form titled "Funktionsträger" with a blue "iwb" logo in the top right corner. The form contains several data entry fields:

Funktionsträgerbezeichnung:	Roboter
Hersteller:	KUKA
Genauere Bezeichnung:	KUKA KRC 124
Kosten des Funktionsträgers:	60.000 €
Erstelldatum:	01.01.02
Leistungsdaten:	Tragkraft: 124 kg Arbeitsraumdurchmesser 5 m Eigengewicht 1.5 t

The form is displayed in a Microsoft Access window. The taskbar at the bottom shows the Start button and several open applications: Explorer - D:\USERDATE..., Microsoft Word - Dissitati..., Micrografix Designer - [Logo], and Microsoft Access - F...

Abbildung 5.10: Formular für die Erfassung der Funktionsträger

6 Bewertung der Methode

6.1 Allgemeines

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst ein Konzept für eine Methode zur frühzeitigen Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen entwickelt und detailliert. Dieses wurde anschließend anhand von zwei praktischen Anwendungen auf seine Eignung hin überprüft. Die dabei erzielten Ergebnisse bestätigen das hohe Rationalisierungspotential, das durch die Anwendung der entwickelten Methode bei der Montagesystemplanung erschlossen werden kann. Bei permanenter Anwendung der Methode werden immer mehr Aufwandswerte für einzelne Montageprozesse in Verbindung mit der realisierten Montageart und den eingesetzten Funktionsträgern in der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis abgelegt. Dadurch wird es möglich stabile Schwellwerte zu bestimmen und diese mit den Aufwandswerten der Montageprozesse zu vergleichen. Auch das Auffinden einer technischen Umsetzung und der dafür notwendigen Investitionen wird erheblich beschleunigt.

Auch ohne Schwellwerte aus der Datenbank ist es möglich, einen relativen Vergleich der Aufwandswerte der Montageprozesse für das betrachtete Produkt durchzuführen. So können die Prozesse identifiziert werden, die den höchsten Automatisierungsaufwand verursachen. Nach Abschluss der Planung wird das realisierte System in die Vergleichs- und Lösungsdatenbasis übernommen und so die Bestimmung von Schwellwerten sowie die Suche nach Funktionsträgern ermöglicht.

Da die Aufwands- und Schwellwerte von der unternehmensspezifischen Gewichtung der einzelnen Kriterien untereinander abhängen sind sie zunächst nicht auf andere Unternehmen und Branchen übertragbar. Ob sich bei gleicher Gewichtung einheitliche, unternehmens- oder branchenübergreifende Schwellwerte bestimmen lassen, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht überprüft werden. Hierfür sind mehr als nur zwei praktische Anwendungen notwendig, was über den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit hinausgegangen wäre. Diese Untersuchung bleibt zukünftigen Arbeiten vorbehalten.

6.2 Erfüllung der Anforderungen

Der besondere Vorteil der entwickelten Methode liegt darin, dass zur Bestimmung des Realisierungsaufwandes für eine automatisierte Lösung zunächst keine Informationen über das Montagesystem notwendig sind. Die Abschätzung des Aufwandes erfolgt allein auf der Basis von Produkt-, Bauteil- und Prozessinformationen. Im Gegensatz zu erfahrungsgestützten Bewertungen im Team findet bei der Anwendung der Methode eine Entscheidung über die wirtschaftliche Automatisierbarkeit auf der Basis von quantifizierten Aufwandswerten statt. Diese werden für den Montageprozess sowie die Teilfunktionen Handhaben und Fügen getrennt bestimmt und erlauben somit auch eine Aussage über die Automatisierbarkeit der Teilfunktionen. Die Entscheidung über die Automatisierbarkeit ist durch das Speichern der Aufwandswerte und der Schwellwerte in der Produktdatenbank dokumentiert und somit nachvollziehbar. Durch die Übernahme abgeschlossener Planungen in die Vergleichs- und Lösungsdatenbank wird die Notwendigkeit von Erfahrungswissen bei weiteren Montagesystemplanungen erheblich reduziert. Wie die beiden Anwendungsbeispiele gezeigt haben, ist die auch die flexible Anwendbarkeit der Methode bei verschiedenen Ausgangssituationen gegeben. Außerdem ist ein Vergleich von verschiedenen Montageabläufen hinsichtlich des für eine wirtschaftliche Automatisierung am besten geeigneten anhand der Aufwandswerte möglich. Zum Vergleich sind in Tabelle 6.1 die in der Situationsanalyse vorgestellten und die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen mit ihren Bewertungen zusammenfassend gegenübergestellt.

	Systeminformationen notwendig	Zeitpunkt der Bewertung	Bewertungsergebnis auf quantifizierter Information	Aussage ob Teilfunktionen automatisierbar	Wie viel Erfahrungswissen ist notwendig
Investitionsrechnung	ja	spät	ja	ja	wenig
Bullinger	ja	mittel	nein	bedingt	viel
Konold & Reger	ja	mittel	nein	nein	viel
Lotter (ABC-Analyse)	ja	mittel	bedingt	bedingt	viel
Grob & Haffner	nein	mittel	nein	ja	viel
Bick	ja	mittel	ja	nein	mittel
Boothroyd	ja	spät	ja	ja	viel
Prelaz	ja	mittel	bedingt	bedingt	viel
Entwickelte Methode	nein	früh	ja	ja	mittel

Tabelle 6.1: Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Methoden zur Bestimmung des Automatisierungsgrades

6.3 Erschließbare Potentiale

Wie die Anwendungsbeispiele gezeigt haben, ermöglicht die technische Bewertung eine Reduzierung der hinsichtlich Automatisierung näher zu untersuchenden Prozesse um mindestens 35 %. Für die verbleibenden Prozesse muss die manuelle Montagezeit, die Anzahl der zu ersetzenden Montagemitarbeiter und der für die Betreuung einer automatisierten Anlage notwendige Bediener ermittelt werden. Die automatische Montagezeit kann mit 75% der manuellen Montagezeit angesetzt werden [KONOLD & REGER 1997, S. 106]. Mit diesen Angaben erfolgt die Bestimmung des zulässigen Investitionsvolumens. Die für eine automatisierte Realisierung notwendigen Kosten können durch eine Suche ähnlicher Lösungen in der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis bestimmt werden. Sofern diese noch nicht ausreichend mit Lösungsinformationen gefüllt ist, muss das automatisierte System so weit in einzelne Funktionsträger detailliert werden, dass eine Abschät

zung der notwendigen Investitionen auf Basis von Richtpreisen der Hersteller erfolgen kann. Der Aufwand für die Ermittlung der notwendigen Investitionen wird mit zunehmender Information in der Vergleichs- und Lösungsdatenbasis erheblich reduziert. Durch den Vergleich der zulässigen Investitionen mit den notwendigen kann die Anzahl der weiter zu betrachtenden Montageprozesse auf bis zu 10% der ursprünglichen Anzahl reduziert werden. Insgesamt kann also mit Hilfe der Methode eine Reduzierung der hinsichtlich einer Automatisierung näher zu betrachtenden Prozesse um bis zu 90% erreicht werden.

Zur Verdeutlichung der erschließbaren Potentiale soll folgende Modellrechnung dienen:

Es wird ein Modellprodukt betrachtet, für dessen Herstellung 50 Montageprozesse notwendig sind. Es wird angenommen, dass für jeden Montageprozess für eine sinnvolle Bewertung mindestens eine manuelle und eine automatisierte Lösung detailliert werden muss und der Zeitaufwand für die Detaillierung einer Alternative 2 Stunden beträgt. Insgesamt ergibt sich so eine Planungsdauer ohne Nutzung der vorgeschlagenen Methode von 200 Stunden.

$$\text{Planungszeit} = 50 \cdot 2 \cdot 2 = 200 \text{ [h]}$$

Gleichung 6-1: Planungszeit ohne Anwendung der Methode

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass der Zeitaufwand für die technische Bewertung eines Montageprozesses 12 Minuten (= 0,2 Stunden) beträgt und zu einer Reduzierung der hinsichtlich einer Automatisierung näher zu betrachteten Montageprozesse von 35% führt. Bewertet man nun zunächst die 50 Montageprozesse, so dauert diese Bewertung 10 Stunden und führt zu einer Reduzierung der hinsichtlich einer Automatisierung näher zu betrachtenden Montageprozesse von 50 auf 33. Somit kann durch die technische Bewertung eine Reduzierung der notwendigen Planungszeit von 200 Stunden auf 176 Stunden erreicht werden, was einer Reduzierung von 12% entspricht.

$$\text{Planungszeit}_{\text{techn. Bewertung}} = 33 \cdot 2 \cdot 2 + 17 \cdot 2 + 10 = 176 \text{ [h]}$$

Gleichung 6-2: Planungszeit nach technischer Bewertung

$$\text{Zeitersparnis} = \frac{\text{Planungszeit}_{\text{techn. Bewertung}}}{\text{Planungszeit}} = \frac{176 \text{ [h]}}{200 \text{ [h]}} = 88\%$$

Gleichung 6-3: Prozentuale Reduzierung der notwendigen Planungszeit

Die verbleibenden 33 Montageprozesse werden mit einem Zeitaufwand von ½ Stunde je Alternative weiter detailliert, so dass sie anschließend der monetären Bewertung unterzogen werden können. Die dafür notwendige Planungszeit beträgt 33 Stunden. Wird für die monetäre Bewertung ein Zeitaufwand von 10 Minuten angenommen, so sind für die monetäre Bewertung von 33 Prozessen 5,5 Stunden notwendig. Durch die monetäre Bewertung wird die Anzahl der hinsichtlich einer Automatisierung näher zu betrachtenden Prozesse um mindestens 40% reduziert, so dass von den 33 Montageprozessen 13 von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden können. Für die verbleibenden 20 Prozesse sind sowohl die manuelle als auch die automatisierte Alternative weiter zu detaillieren. Somit sind für Planung bei Nutzung der vorgeschlagenen Methode 162 Stunden zu veranschlagen.

$$t_{\text{Planung}} = 10 + 17 \cdot 2 + 33 \cdot 2 \cdot 0,5 + 5,5 + 13 \cdot 1,5 + 20 \cdot 2 \cdot 1,5 = 162 \text{ [h]}$$

Gleichung 6-4: Notwendige Gesamtplanungszeit für das Modellprodukt

Das entspricht einer Reduzierung der insgesamt notwendigen Planungszeit von mindestens 19% und lässt die Bedeutung der vorgeschlagenen Methode für die Rationalisierung der Montagesystemplanung erkennen.

$$\text{Zeitersparnis insgesamt} = \frac{162 \text{ [h]}}{200 \text{ [h]}} = 81\%$$

Gleichung 6-5: Zeitersparnis bei Nutzung der vorgeschlagenen Methode

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Bereich der Montage besteht trotz vielfältiger Bemühungen immer noch ein sehr hohes Rationalisierungspotential. Für die Erschließung dieses Potentials bestehen verschiedene Ansätze aus den Bereichen Arbeitswissenschaften, Organisation, Konstruktion und Technologie. Wie zu Beginn dieser Arbeit aufgezeigt wurde ist eine Möglichkeit zur Rationalisierung der Montage die schnelle Durchführung der Planung mit einem an die jeweilige Problemstellung angepassten Automatisierungsgrad als Ergebnis.

Im Rahmen der Situationsanalyse wurden Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung untersucht und deren Regeln zur Bauteilgestaltung vorgestellt. Anschließend wurden bei der Montagesystemplanung häufig zum Einsatz kommende Bewertungsmethoden vorgestellt. Die Nutzwertanalyse als ein Verfahren mit dem auch nicht monetär quantifizierbare Ziele erfasst werden können sowie die Verfahren zur statischen und dynamischen Investitionsrechnung. Weiterhin erfolgte eine Untersuchung von ausgewählten Methoden zur Montagesystemplanung, um so Verfahren zu ermitteln, die innerhalb der jeweiligen Methoden für die Bestimmung der Automatisierbarkeit des Montageablaufes zum Einsatz kommen. Fazit dieser Untersuchungen war, dass es keine Möglichkeit für den Montagesystemplaner gibt, die Automatisierbarkeit von Montageprozessen in der frühen Phase der Montagesystemplanung auf der Basis von quantifizierten Informationen zu bestimmen und somit eine Zusammenfassung der einzelnen Montageprozesse zu manuellen und automatisierten Blöcken zu ermöglichen.

Zielsetzung der Arbeit war es daher, dem Montageplaner eine Methode an die Hand zu geben, mit der die Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades in der frühen Phase der Montagesystemplanung auf Basis von quantifizierten Informationen ermöglicht wird.

Für diese Methode wurden Anforderungen hergeleitet und auf deren Basis ein Konzept für eine Methode zur Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades in der frühen Phase der Montagesystemplanung erstellt. Die Bestimmung der Automatisierbarkeit erfolgt durch einen Vergleich des aktuell betrachteten Prozesses mit bereits realisierten. Dazu wird anhand von Produkt-, Bauteil- und Prozessinformationen ein Aufwandswert bestimmt und mit einem erfahrungsbasierten Schwellwert verglichen. Der Aufwandswert beschreibt dabei den technischen Aufwand der für eine Automatisierung des Montageprozesses notwendig ist. Sofern die Aufwandswerte für Montageprozess, Handhabung und

Fügen kleiner oder gleich den entsprechenden Schwellwerten sind, ist Automatisierungspotential vorhanden. Die alternativen Montagesysteme können weiter detailliert werden. Sobald bei der weiteren Detaillierung entsprechende Montagezeiten abgeschätzt und Funktionsträger festgelegt sind, kann ein Vergleich des zulässigen Investitionsvolumens mit dem für eine automatisierte Lösung notwendigen Investitionsvolumen erfolgen. Sofern die zulässigen Investitionen größer sind als die notwendigen, kann die automatisierte Lösung für diesen Montageprozess weiter detailliert und ausgearbeitet werden.

Anhand zweier Anwendungsbeispiele mit unterschiedlichen Ausgangssituationen wurde die entwickelte Methode verifiziert und auf Basis der gemachten Erfahrungen ein Rechnerwerkzeug zur Unterstützung der Methode zur Bewertung der Automatisierbarkeit (RUMBA) entwickelt.

Eine abschließende Bewertung der Methode in Verbindung mit einer Modellrechnung verdeutlicht die bei der Anwendung erschließbaren Potentiale und damit den Beitrag der entwickelten Methode zur Rationalisierung der Montage.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode ist bei vergleichsweise wenigen Montagesystemplanungen zum Einsatz gekommen. Eine statistisch abgesicherte Aussage über die Richtigkeit aller Bewertungskriterien sowie die Stabilität der Schwellwerte kann daher nicht getroffen werden. Hiermit müssen sich weitere Arbeiten in diesem Themengebiet beschäftigen.

8 Literaturverzeichnis

ABELE U. A. 1984

Abele, E. u.a.: Einsatzmöglichkeiten von flexibel automatisierten Montagesystemen in der industriellen Produktion (Montagestudie). Düsseldorf: VDI-Verlag 1984. (Humanisierung des Arbeitslebens Bd. 61).

ANDREASEN U. A. 1985

Andreasen, M. M.; Kähler, S.; Lund, T.: Montagegerechtes Konstruieren. Berlin: Springer 1985.

ANDREASEN U. A. 1988

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

BARTHELMEß 1987

Barthelmeß, P.: Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozessgestaltung. Berlin: Springer 1987. (iwb Forschungsberichte 9).

BICK 1991

Bick, W.: Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter besonderer Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades. Berlin: Springer 1991. (iwb Forschungsberichte 46).

BÖNKER & SCHMIDT 2001

Bönker, T.; Schmidt, G.: Entwicklungstrends in der Handhabungstechnik. VDI-Z 143 (2001) 9, S. 86-89.

BOOTHROYD & ALTING 1992

Boothroyd, G.; Alting, L.: Design for Assembly an Disassembly (Keynote Paper). Annals of the CIRP Vol. 41/2/1992.

BOOTHROYD & DEWHURST 1986

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.: Product design for assembly. Wakefield: Boothroyd and Dewhurst Inc. 1986.

BOOTHROYD 1984

Boothroyd, G.: Economics of General Purpose Assembly Robots. In: Annals of the CIRP Vol. 33/1/1984, S. 287-290.

BOOTHROYD 1992

Boothroyd, G.: Assembly automation and product design. New York: Marcel Dekker 1992.

BOOTHROYD U. A. 1994

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W.: Product design for manufacture and assembly. New York: Marcel Dekker Inc. 1994.

BROCKHAUS 1958

Der Neue Brockhaus: Allbuch in fünf Bänden und einem Atlas, Zweiter Band. Wiesbaden: F. A. Brockhaus 1958.

BROCKHAUS 1959

Der Neue Brockhaus: Allbuch in fünf Bänden und einem Atlas, Viertes Band. Wiesbaden: F. A. Brockhaus 1959.

BULLINGER 1986

Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Systematische Montageplanung, Handbuch für die Praxis. München: Carl Hanser 1986.

BURTON & FORD 1985

Burton, J.; Ford, F.: What goes wrong lands on the assembly floor. In: Heginbotham (Hrsg.): Proceedings of the 6th international conference on assembly automation. Bedford: IFS Publications 1985, S. 217-221.

DAVISON 1985

Davison, R. G.: The design of hybrid flexible assembly systems. In: Heginbotham, W. B. (Hrsg.): Proceedings of the 6th international conference on assembly automation. Bedford: IFS Publications 1985, S. 179-184.

DILLING U. A. 1975

Dilling, H.-J. u. a.: Rationalisierung und Automatisierung der Montage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.

DIN 8580

DIN 8580: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung. Berlin: Beuth 1985.

DIN 8593

DIN 8593, Teil 0 bis Teil 9: Fertigungsverfahren Fügen. Berlin: Beuth 1985.

DIN 19233

DIN 19233: Automat, Automatisierung, Begriffe, Berlin: Beuth 1972.

DIN 33411, Teil 1

DIN 33411, Teil 1: Körperkräfte des Menschen: Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen. Berlin: Beuth 1982.

DIN 33411, Teil 2

DIN 33411, Teil 2 (Entwurf): Körperkräfte des Menschen: Zulässige Grenzwerte von Aktionskräften der Arme. Berlin: Beuth 1984.

DIN 33411, Teil 3

DIN 33411, Teil 3: Körperkräfte des Menschen: Maximal erreichbare statische Aktionsmomente an Handrädern. Berlin: Beuth 1986.

DIN 33411, Teil 4

DIN 33411, Teil 4: Körperkräfte des Menschen: Maximale statische Aktionskräfte (Isodynamen). Berlin: Beuth 1987.

DIN 33411, Teil 5

DIN 33411, Teil 5: Körperkräfte des Menschen: Maximale statische Aktionskräfte, Werte. Berlin: Beuth 1999.

EHRENSPIEL 1994

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produkterstellung - Weniger Fehler, mehr Effizienz durch Zusammenarbeit und einheitliche Methoden. In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Unsere Stärken stärken, der Weg zu Wettbewerbsfähigkeit und Standortsicherung. Tagungsband zum Münchener Kolloquium 1994. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1994, S. 163-186.

EVERSHEIM U. A. 1986

Eversheim, W.; Mok, H.; Müller, W.: Beurteilung flexibler Montagesysteme. VDI-Z 128 (1986) 14, S. 551-556.

EVERSHEIM 1987

Eversheim, W. (Hrsg.): Strategien zur Rationalisierung der Montage: Einzel und Kleinserienproduktion komplexer Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1987.

EVERSHEIM & SCHUH 1996

Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management (Betriebshütte), 7. Auflage. Berlin: Springer 1996.

FELDMANN 1997

Feldmann, C.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung. Berlin: Springer 1997. (iwb Forschungsberichte 104).

FELDMANN U. A. 2001

Feldmann, K.; Rottbauer, H.; Göhringer, J.: Rationelle Montagestrukturen mit angepasster Automatisierung im Produktionsverbund. VDI-Seminar Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme, 27./28. Juni 2001, Fürth/ Erlangen.

FELDMANN U. A. 2001a

Feldmann, K.; Collisi, T.; Licha, A.: Planung und Simulation. VDI-Seminar Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme, 27./28. Juni 2001, Fürth/ Erlangen.

FICHTMÜLLER 1996

Fichtmüller, N.: Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme. Berlin: Springer 1996. (iwb Forschungsberichte 95).

GAIROLA 1985

Gairola, A.: Montage automatisieren durch montagegerechtes Konstruieren. VDI-Z 127 (1985) 11, S. 403-408.

GEYER 1991

Geyer, G.: Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage.(Fertigungstechnik - Erlangen Band 22) München: Hanser 1991. zugl.: Dissertation Universität Erlangen Nürnberg.

GÖTZ 1991

Götz, R.: Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile. Berlin: Springer 1991. (iwb Forschungsberichte 39).

GÖTZE & BLOECH 1995

Götze, U.; Bloech, J.: Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. Berlin: Springer 1995.

GREBE 2001

Grebe, S.: Traumwerte für Automatisierung. SPS Magazin 8+9 2001, S. 10-11.

GRUNDLER 2001

Grundler, E.: Jobmaschine Factory Automation. VDI-Z 143 (2001) 6, S. 3.

HARTMANN 1993

Hartmann, M.: Entwicklung eines Kostenmodells für die Montage. (-Ein Hilfsmittel zur Montageanlagenplanung-). Aachen: Shaker 1993. (Berichte aus der Produktionstechnik; Bd. 7/93).

HESSE 1993

Hesse, S.: Montagemaschinen. Würzburg: Vogel 1993.

HIERSIG 1995

Hiersig, H. (Hrsg.): Lexikon der Produktionstechnik Verfahrenstechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag 1995.

HIERSIG 1995a

Hiersig, H. (Hrsg.): Lexikon Maschinenbau. Düsseldorf: VDI-Verlag 1995.

HILGENBÖCKER 1985

Hilgenböcker, H.: Methodische Entwicklung von Zuführsystemen. Düsseldorf: VDI Verlag 1985. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2: Betriebstechnik Nr. 97).

HOßMANN 1991

Hoßmann, J.: Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen. Berlin: Springer 1991. (iwb Forschungsberichte 43).

HÜTTER 1979

Hütter, O.: Systematische Untersuchungen zum Werkstück- und Geräteverhalten beim Zubringeprozess von Wirtteilen. Dissertation Universität Hannover. Hannover 1979.

IWD 2001

N.N.: Auf Wachstum programmiert. Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft. Jahrgang 27/ 26. Juli 2001, S. 2.

KERN BAUSCH & JECKLE 2000

Kern Bausch, L.; Jeckle, M.: Datenbanken. In: Schneider, U. (Hrsg.); Werner, D. (Hrsg.): Taschenbuch der Informatik. München: Carl Hanser 2000.

KETTNER 1987

Kettner, P.: Konzeption eines Informationssystems für die Planung automatisierter Montagesysteme. Dissertation RWTH Aachen 1987.

KONOLD & REGER 1997

Konold, P.; Reger, H.: Angewandte Montagetechnik. Braunschweig: Vieweg 1997.

LEHNER 1985

Lehner, G.: Flexible Montage von Motorlagern mit Industrierobotern. In: Automatisierung der Montage in der Feinwerktechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag 1985, S. 207-213. (VDI-Berichte 556).

LINDEMANN & REICHWALD 1998

Lindemann, U.; Reichwald, R.: Integriertes Änderungsmanagement. Berlin: Springer 1998.

LÖHR 1977

Löhr, H.-G.: Eine Planungsmethode für automatisierte Montage-systeme. Mainz: Krauskopf 1977.

LOHWASSER & HERTWIG 1990

Lohwasser, F.; Hertwig, J.: Die Zugänglichkeit zum Fügeort - eine Kenngröße zur Ermittlung der Kompliziertheit von Montageverrichtungen. Zwickau: Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Hochschule Zwickau 16 (1990) 3, S. 43 bis 56.

LOTTER 1982

Lotter, B.: Arbeitsbuch der Montagetechnik. Mainz: Vereinigte Fachverlage Krauskopf 1982.

LOTTER 1986

Lotter, B.: Wirtschaftliche Montage: Ein Handbuch für Elektrogeräte und Feinwerktechnik. Düsseldorf: VDI Verlag 1986.

LOTTER & SCHILLING 1994

Lotter, B.; Schilling, W.: Methodisches Rationalisieren der manuellen Montage Teil 2. Der Betriebsleiter 4/1992, S. 10-13

MERZ 1987

Merz, K.-P.: Entwicklung einer Methode zur Planung der Struktur automatisierte Montagesysteme. Dissertation RWTH Aachen 1987.

METZGER 1977

Metzger, H.: Planung und Bewertung von Arbeitssystemen in der Montage. Mainz: Krauskopf 1977.

MILBERG 1989

Milberg, J.: Nutzung der Kostensenkungspotentiale in der Montage. In: Kostensenkungspotentiale der Produktion. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989, S. 281-314. (VDI Berichte 767).

NEUGEBAUER 1999

Neugebauer, J.: Montage- und Handhabungstechnik – Trends und Zukunftspotentiale. WT 89 (1999) H 4, S. 155-158.

NOLTING 1988

Nolting, F.-W.: Projektierung von Montagesystemen. München: Carl Hanser 1988. zugl: Dissertation Universität Erlangen - Nürnberg.

OCHS 1989

Ochs, M.: Entwurf eines Planungssystems zur wissensbasierten Planung und Konfigurierung. Diss. Universität Karlsruhe 1989.

PISCHETSRIEDER 1994

Pischetsrieder, B.: Standortsicherung und Internationalisierung - Grundsätzliche Überlegungen über die Automobilindustrie und ihre Zulieferer. In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Unsere Stärken stärken, der Weg zu Wettbewerbsfähigkeit und Standortsicherung. Tagungsband zum Münchener Kolloquium 1994. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1994.

PRELAZ 1985

Prelaz J.-C.: Automatisierung einer Montagekette - Allgemeine Studie und quantitative Methode. In: Automatisierung der Montage in der Feinwerktechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag 1985, S. 85-109. (VDI-Berichte 556).

PRODUKTION 1999

N.N.: Roboter bleibt das beste Zugpferd. In: Produktion, Sonderausgabe Fabrikautomation, Robotermarkt 1999/2000, Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1999, S. 6-8.

PRODUKTION 1999a

N.N.: Die Automation angepasst. In: Produktion, Sonderausgabe Fabrikautomation, Robotermarkt 1999/2000, Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1999, S. 10-13.

PRODUKTION 2000

N.N.: Umsatz-Perspektiven 2000, Wachstumsquoten gegenüber 1999 in %. Produktion Nr. 35, 31. August 2000, Landsberg/Lech: Moderne Industrie 2000, S. 1.

RADZISZEWSKI 1997

Radziszewski O.: Mit angemessenem Technikeinsatz und innovativer Montagetechnik zum Erfolg. In: VDI ADB (Hrsg.): Wirtschaftliche Montage variantenreicher Serienprodukte - Neue Chancen in verän

dertem industriellen Umfeld. 16. Oktober 1997, Garching bei München.

RAHM 1983

Rahm, A.: Flexible Montagesysteme - Vorgehensweise bei der Entwicklung. *ZwF* 78 (1983) 10, S. 463-466.

REDFORD & LO 1992

Redford, A.; Lo, E.: *Montageroboter*. Weinheim: VCH 1992.

REDFORD & CHAL 1994

Redford, A.; Chal, J.: *Design for Assembly*, London: McGraw-Hill Book Company 1994.

REFA 1990

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (Hrsg.): *Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme*. München: Carl Hanser 1990.

REINHART 1998

Reinhart, G.: *Montage Management - Lösungen zum Montieren am Standort Deutschland*. München: Transfer-Centrum GmbH 1998. (TCW Report Nr. 6).

REINHART 1998a

Reinhart, G.: *Simultan ist gut – Gemeinsam ist besser*. In: Reinhart, G. (Hrsg.): *Wirtschaftliche Montage - Effizienz durch ganzheitliche Systemgestaltung*, Tagungsband zum 14. Deutschen Montagekongress. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1998.

REINHART & DÜRRSCHMIDT 2000

Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.: *Produkt und Produktion gemeinsam geplant*. *iwb newsletter* 8 (2000) 3, S. 1-2.

REINHART & FICHTMÜLLER 1994

Reinhart, G.; Fichtmüller, N.: *Flexible Montagearbeitsplätze erleichtern die Rationalisierung*. *VDI-Z* 136 (1994) 4, S. 105-107.

REINHART & SCHNEIDER 1995

Reinhart, G.; Schneider, B.: Montage. In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart: Schäfer-Poeschel 1995, S. 1236-1247.

REINHART U. A. 1997

Reinhart, G.; Eich, B.; Schneider, B.: Verbesserung von Prozessketten und Prozessen - Erfolgsfaktoren für die Montage. In: VDI ADB (Hrsg.): Wirtschaftliche Montage variantenreicher Serienprodukte - Neue Chancen in verändertem industriellen Umfeld. 16. Oktober 1997, Garching bei München.

RRZN 1999

Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen/ Universität Hannover (Hrsg.): Access 97 für Fortgeschrittene. Hannover 1999.

SAUER 1995

Sauer, H.: Relationale Datenbanken – Theorie und Praxis. München: Addison-Wesley 1995.

SCHAAF 2000

Schaaf, W.: Grundlagen des Systems Engineering. wt 90 (2000) H. 4, S. 155-158.

SCHARF U. A. 1994

Scharf, P.: Die automatisierte Montage mit Schrauben: Anforderungen, alternative Fügeverfahren, Wirtschaftlichkeit. Renningen-Malmsheim: Expert 1994.

SCHNEIDER 1998

Schneider, B.: Montageautomatisierung - Neue Perspektiven durch kostengünstige Technik. iwb newsletter 6 (1998) 1/2, S. 5-6.

SCHNEIDER 1999

Schneider, B.: Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile. München: Herbert Utz 1999. (iwb Forschungsberichte 122).

SCHÖNHEIT 1998

Schönheit, M.: Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit durch Rückverlagerung und Selbststeuerung von Produktionsprozessen. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Wirtschaftliche Montage - Effizienz durch ganzheitliche Systemgestaltung, Tagungsband zum 14. Deutschen Montagekongress. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1998.

SCHRAFT 2001

Schraft, R. D.: Automatisierung in der Produktion. VDI-Z 143 (2001) 9, S. S4 – S5.

SCHRAFT & KAUN 1999

Schraft, R. D.; Kaun, R. (Hrsg.): Automatisierung, Trends, Defizite, Stand der Technik. Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, WirtschaftsWoche 1999.

SEIDEL 1995

Seidel, G.: Teilebereitstellung in automatischen Montageanlagen. In: Reinhart, G. (Hrsg.): iwv Seminarberichte 1: Innovative Montagesysteme. TU München 1995.

SELIGER 1994

Seliger, G.: Montagetechnik. Zwf 89 (1994) 6, S. 310 – 313.

SLAMA 2001

Slama, S.: Beschäftigungsförderliche Rationalisierung durch marktorientierte Montagestrukturen (MAMOS). VDI-Seminar Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme, 27./28. Juni 2001, Fürth/ Erlangen.

SPATH 1999

Spath, D.: Bevorratungsarme Montage in hybriden Montagesystemen. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Tagungsband zum 15. Deutschen Montagekongress: Stückzahl- und Variantenflexibilität – der Wettbewerbsfaktor, München. Landsberg am Lech: Moderne Industrie 1999.

SPATH & BAUMEISTER 2001

Spath, D.; Baumeister, M.: Synchronisation of material flow and assembly in hybrid and modular systems. Assembly Automation 21 (2001) 2, S. 152 – 157.

SPIELMANN 2000

Spielmann, H.-J.: Softwaretechnik. In: Schneider, U. (Hrsg.); Werner, D. (Hrsg.): Taschenbuch der Informatik. München: Carl Hanser 2000.

SPITZNAGEL 1999

Spitznagel, J.: Erfahrungsgeleitete Planung von Laseranlagen. Berlin: Springer 1999. (iwb Forschungsberichte 121).

STEPHAN & SELIGER 1999

Stephan, J.; Seliger, G.: Handling with ice – the cryo-gripper, a new approach. Assembly Automation 19 (1999) 4, S. 332-337.

VDI-NACHRICHTEN 2001

N.N.: Europäische Roboter-Branche wächst auf breiter Basis. VDI-Nachrichten 20. April 2001 Nr. 16, S. S 6.

VDI-Richtlinie 2221

VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth 1986

VDI-Richtlinie 2222

VDI-Richtlinie 2222: Konzipieren technischer Produkte, Blatt 1 und Blatt 2. Düsseldorf VDI-Verlag 1977.

VDI-RICHTLINIE 2860

VDI Richtlinie 2860: Montage- und Handhabungstechnik, Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.

VDI-Richtlinie 3237

VDI Richtlinie 3237: Fertigungsgerechte Werkstückgestaltung im Hinblick auf automatisches Zubringen, Fertigen und Montieren, Blatt 1 und Blatt 2. Düsseldorf: VDI-Verlag 1967.

VDI-Richtlinie 3239

VDI Richtlinie 3239: Sinnbilder für Zubringefunktion - Begriffe, Sinnbilder, Kennnummern, Anwendung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1966.

VDI-Richtlinie 3240

VDI-Richtlinie 3240: Zubringeeinrichtungen - Begriffe, Kennzeichnungen, Anforderungen, Blatt 1. Düsseldorf: VDI-Verlag 1971.

VDI-Richtlinie 3244

VDI Richtlinie 3244: Automatisierung des Arbeitsgutdurchlaufes – Zubringeeinrichtungen und Verkettungseinrichtungen in der Fertigung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1965.

VDI-Richtlinie 3258

VDI Richtlinie 3258: Kostenrechnung mit Maschinenstundensätzen (Blatt 1). Düsseldorf: VDI-Verlag 1962.

VESEY 1991

Vesey, J. T.: The new competitors: They think in terms of speed to market. *Academy of Management Executive* 5 (1991) 2, S. 23-33.

WALTHER 1985

Walther, J.: Systematische Planung flexibel automatisierter Montageanlagen. *VDI-Z* 127 (1985) 9, S. 313-318.

WARNECKE 1985

Warnecke, H.-J.: Perspektiven und Grenzen der Montageautomatisierung. Tagungsband: Kolloquium automatische Produktionssysteme, München: 14./15. Febr. 1985.

WARNECKE & SCHRAFT 1984

Warnecke, H.-J.; Schraft, R. D. (Hrsg.): Handbuch Handhabungs-, Montage- und Industrierobotertechnik, Band III: Montagetechnik. Nachlieferungen bis 1996. Landsberg/ Lech: Moderne Industrie 1984.

WARNECKE U. A. 1993

Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, R.; Voegele, A.: Kostenrechnung für Ingenieure. München: Hanser 1993.

WESTKÄMPER 1997

Grenzen der Automatisierung in der Produktion. In: *VDI Berichte* 1292, Düsseldorf, VDI-Verlag 1997.

WESTKÄMPER 1998

Westkämper, E.: Montage für die Produkte der Zukunft. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Wirtschaftliche Montage - Effizienz durch ganzheitliche Systemgestaltung, Tagungsband zum 14. Deutschen Montagekongress. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1998.

WIENDAHL U. A. 2001

Wiendahl, H.-P.; Lay, G.; Schirrmeister, E.; Röhrig, M.: Zurück zu neuen Ufern. ZwF 96 (2001) 7-8, S. 399 – 404.

WIENDAHL & RÖHRIG 1999

Wiendahl, H.-P.; Röhrig, M.: Beschäftigungswirksame Produktionskonzepte – ein Ansatz für Märkte mit kurzen Produktlebenszyklen, hoher Variantenzahl und starken Volumenschwankungen. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Tagungsband zum 15. Deutschen Montagekongress: Stückzahl- und Variantenflexibilität – der Wettbewerbsfaktor, München. Landsberg am Lech: Moderne Industrie 1999.

WIENDAHL & RÖHRIG 1999a

Wiendahl, H.-P.; Röhrig, M.: Employment trough Rationalisation. In: Proceedings of the 32nd International Seminar on Manufacturing Systems, May 24-26, Leuven, Belgien.

WILLIAMS U. A. 1986

Williams, A.M.; Walters, P.E.; Ashton, M.; Reay, D.S.: A flexible assembly cell. In: Heginbotham (Hrsg.): Proceedings of the 6th international conference on Assembly automation. Bedford: IFS Publications 1985, S. 57-66.

ZANGEMEISTER 1976

Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Berlin 1976.

9 Glossar

Automatisieren	Automatisieren heißt künstliche Mittel einzusetzen, damit ein Vorgang automatisch abläuft. Bei einer Anlage bedeutet das, sie mit Automaten so auszurüsten, dass sie automatisch arbeitet. Die Automatisierung ist das Ergebnis des Automatisierens [DIN 19233].
Automat	Ein Automat ist ein künstliches System, das selbsttätig ein Programm befolgt. Aufgrund des Programms trifft das System Entscheidungen, die auf der Verknüpfung von Eingaben mit den jeweiligen Zuständen des Systems beruhen und entsprechende Ausgaben zur Folge haben. Diese Definition eines automatischen Montagesystems lässt bewusst die Integration manueller Tätigkeiten in das System zu. Das Einbeziehen der Teilautomatisierung ist notwendig, da einer vollständigen Automatisierung Grenzen gesetzt sind [DIN 19233].
Automatisierungsgrad	Der Automatisierungsgrad beschreibt den Anteil, den automatisierte Funktionen eines Montagesystems an der Gesamtfunktion einer Anlage haben. Er kann nur für ein festgelegtes System angegeben werden, dessen Grenzen bekannt sein müssen. Zahlenmäßig wird der Automatisierungsgrad meist als Quotient der Anzahl von automatisierten Funktionen und der Gesamtzahl der Funktionen eines Systems angegeben, so dass die Zahlenwerte im Intervall zwischen 0 und 1 liegen [BULLINGER 1986, S. 273].
Basisbauteil	Bauteil, mit dem ein Fügebauteil durch einen Fügeprozess verbunden werden soll. Im allgemeinen dasjenige Teil mit der größten Masse oder einer komplizierten Form und/oder das Teil mit der größten Anzahl an Fügestellen [Hesse 1993].
Beurteilen	Das Beurteilen unterscheidet sich vom Bewerten durch einen noch höheren Anteil qualitativer, nicht quantifizierbarer Merkmale der zugrundeliegenden Situation und

	des betrachteten Objektes sowie durch die meist verbale Darstellungsform des ebenfalls zusammenfassenden Ergebnisses [ENDE 1980, S. 20 f.].
Bewerten	Im Gegensatz zum Messen, Schätzen und Vergleichen werden beim Bewerten mehrere Eigenschaften und Wirkungen eines Objektes unter den Bedingungen einer bestimmten Situation ermittelt und in einer zusammenfassenden Kennzahl ausgedrückt, ohne dass das konkrete Bewertungsobjekt in einer praktischen Form mit der Situation konfrontiert werden muss [ENDE 1980, S. 20 f.].
Concurrent/ Simultaneous Engineering	Simultaneous Engineering (SE) umfasst einen Teilaspekt der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung. Der Einsatzschwerpunkt des SE besteht in der Optimierung der organisatorischen Schnittstellen im Unternehmen durch eine vertikale und horizontale Aufgabenintegration. Unter horizontaler Aufgabenintegration versteht man die frühzeitige, prozessorientierte Zusammenführung und Abstimmung von Aufgaben entlang den internen und unternehmensübergreifenden Prozessketten der Produktentstehung. Vertikale Aufgabenintegration bedeutet, das Planungswissen in den indirekten Bereichen des Unternehmens durch Anwendungserfahrungen aus den direkten Bereichen des Unternehmens zu ergänzen. Beim SE stehen somit die Parallelisierung und verbesserte Abstimmung von Abläufen der Produktentstehung im Vordergrund. Eine inhaltliche Unterscheidung von Simultaneous Engineering und Concurrent Engineering ist heute nicht mehr möglich [EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 7-125]
Dokumentation	Unter Dokumentation wird die Sammlung, Speicherung, Ordnung und Auswahl sowie Verbreitung und Nutzbarmachung von Informationen verstanden, sofern sie in Dokumenten aller Art enthalten sind. Zu diesen gehören nicht nur Veröffentlichungen, sondern auch Filme, Akten, Zeichnungen, EDV-Daten usw. [HIERSIG 1995].

	<p>Eine durchgängige und umfassende Dokumentation aller Planungsgrundlagen, Lösungsvarianten und Planungsergebnisse ist erforderlich, um die im Rahmen der Planung und Einführung komplexer Produktionssysteme gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen für zukünftige Projekte zu sichern. Der Gesamt Ablauf des Projektes wird so, aufbauend auf den in den einzelnen Planungsstufen durchzuführenden Tätigkeiten, auch für nicht unmittelbar an der Planung Beteiligte einwandfrei nachvollziehbar zu machen [REFA 1990, S. 88].</p>
Entity	<p>Unter einem Entity versteht man ein eindeutig identifizierbares Ding (Subjekt, Objekt, Ereignis oder abstraktes Gebilde), das in der Realität in mehreren Ausprägungen existiert und für die vorliegende Problemstellung relevant ist [SPIELMANN 2000, S. 333]</p>
Erfahrung	<p>1) belehrendes Erlebnis: <i>gute Erfahrungen machen</i> 2) <i>Empirie</i>, das durch Anschauung, Wahrnehmung erworbene Wissen, im Unterschied zu dem durch Denken vermittelten Wissen. Da aber weder Erfahrung noch Denken ohne gegenseitige Mitwirkung zustande kommen, ist der Begriff der Erfahrung sehr vieldeutig. Zum erfahrungsgemäßen wissenschaftlichen Verfahren gehören bes. planmäßige Beobachtungen und Versuche [BROCKHAUS 1958].</p>
Fügebauteil	<p>Bauteil, das mittels eines Fügeprozesses mit einem anderen Bauteil (Basisbauteil) verbunden werden soll.</p>
Fügen	<p>Fügen ist das Verbinden oder sonstige Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstücken geometrisch bestimmter fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosen Stoff, wobei Zusammenhalt örtlich geschaffen und damit vermehrt wird [DIN 8580].</p>
Funktionsträger	<p>Funktionsträger sind Montagekomponenten, die innerhalb eines Montagebereiches die notwendigen Funktionen ausführen wie z.B. Industrieroboter oder Vibrations</p>

	wendelförderer [BICK 1991, S. 74].
Handhaben	Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskordinatensystem. Es können weitere Bedingungen – wie z.B. Zeit, Menge und Bewegungsbahn – vorgegeben sein [VDI 2860].
Hybrides Montagesystem	Hybride Montagesysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil der Montagevorgänge manuell und der Rest automatisiert ausgeführt wird [BICK 1991].
Kann-Kriterien	Kann- oder Wunsch-Kriterien sind die Kriterien, deren Erfüllung nicht zwingend erforderlich ist. Im Gegensatz zu Muss-Kriterien sind sie für eine Bewertung verschiedener Alternativen geeignet.
Methode	Das Wort Methode ist griechischen Ursprungs. Methodos heißt „Gang einer Untersuchung“. Aus „meta“ (nach, hinter) und „hodos“ (Weg) lässt sich eine Methode auch interpretieren als „der Weg zu etwas hin“. Also sind Methoden planmäßig angewandte, begründete Vorgehensweisen zum Erreichen festgelegter Ziele. Planmäßig bedeutet, dass beim Anwenden eine Methode nicht „herumprobiert“ wird. Methoden geben eine Wegleitung sowie eine Aufteilung in Arbeitsschritte vor, und sie sind meistens Anwendungsneutral [SCHAAF 2000, S.155].
Montage	Aufgabe der Montage ist es, aus Teilen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten an unterschiedlichen Orten mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren hergestellt wurden, ein Produkt höherer Komplexität mit vorgegebener Funktion in einer bestimmten Zeit zusammenzubauen [REINHART & SCHNEIDER 1995].
Montageablauf	Aufeinanderfolge derjenigen Montageprozesse, die zur kompletten Baugruppe oder zum kompletten Produkt führen [HESSE 1993].

Montageart	Unter Montageart wird im Rahmen dieser Arbeit die Form der Realisierung des Montageprozesses verstanden. Hierfür bestehen die drei Möglichkeiten manuelle (Automatisierungsgrad = 0), teilautomatisierte ($0 < \text{Automatisierungsgrad} < 1$) oder automatisierte Durchführung der Montage (Automatisierungsgrad = 1).
Montageprozess	Ein Montageprozess bildet sich aus der Kombination von Füge-, Handhabungs- und Sonderfunktionen (z.B. Justage, Reinigen) [REINHART & SCHNEIDER 1995].
Montagesystem	Zum Montagesystem zählen alle Einrichtungen, die als Betriebsmittel den Produktionsfortschritt im Sinne der Aufgaben des Montagesystems bewirken. Dies sind also beispielsweise Maschinen, Werkzeuge, Vorrichtungen, Mess- und Prüfeinrichtungen. In einem Teilsystem wird nicht der gesamte Umfang zur Fertigstellung eines Produktes ausgeführt (Vor- und Endmontagen) [REFA 1990, S. 42, MERZ 1987, S. 34].
Montagevorranggraph	Beim Montagevorranggraph handelt es sich um eine netzplanähnliche Darstellung von Teilaufgaben der Montage, in der die Teilaufgaben als Knoten und die Abhängigkeitsbeziehungen als Verbindungslinien (Kanten) zwischen den Knoten dargestellt werden. Die Teilaufgaben werden zum Zeitpunkt der frühesten Ausführbarkeit eingetragen. Das Ende der von einem Knoten ausgehenden Kanten verdeutlicht den Zeitpunkt, zu dem die Teilverrichtung spätestens ausgeführt sein muss.
Muss-Kriterien	Das sind die Kriterien, die in gesetzlichen Bestimmungen oder von seiten des Unternehmens vorgeschrieben sind und deshalb für alle Lösungsalternativen von Montagesystemen gleichermaßen eingeplant werden müssen. Eine Bewertung alternativer Lösungen anhand von Muss-Kriterien ist demnach nicht sinnvoll [WARNECKE & SCHRAFT 1984]. (s. a. Kann-Kriterien)
Technik	Technik im weiteren Sinne ist die Kunst, mit den zweckmäßigsten und sparsamsten Mitteln ein bestimmtes

	<p>Ziel oder die beste Lösung zu erreichen. Der Begriff leitet sich von griechisch „technikos“ (kunstvoll, kunstgemäß, sachverständig) ab [SCHAAF 2000, S.155].</p>
Teilverrichtung	<p>Eine Teilverrichtung ist eine Tätigkeit, die sinnvoll nicht weiter teilbar ist. [KONOLD & REGER 1997, S.28]</p>
Produktlebenszyklus	<p>Der Produktlebenszyklus beschreibt den idealtypischen Absatzverlauf eines Produktes am Markt, der in fünf abgrenzbare Phasen eingeteilt werden kann. In den Phasen Markteinführung, Wachstum, Reifung, Sättigung und Degeneration sind jeweils andere Strategien und Maßnahmen für das Produkt gefordert sowie spezifische Verhaltensweisen der Marktteilnehmer zu erwarten.</p>
Verfahren	<p>Verfahren sind ausführbare Vorschriften oder Anweisungen zum gezielten Einsatz von Methoden. Sie beschreiben konkrete Wege zur Lösung bestimmter Probleme oder Problemklassen. Ein Verfahren ist häufig mehr einsatzbezogen als eine Methode und umfasst meist formale Vorschriften, die oft zu Standards führen. Mehrere alternative oder sich ergänzende Verfahren und Techniken können eine Methode unterstützen [SCHAAF 2000, S.155].</p>
Verfügbarkeit	<p>Die Zuverlässigkeitskenngröße Verfügbarkeit ist definiert als die Wahrscheinlichkeit, ein System zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem Funktionsfähigen Zustand anzutreffen [Hiersig 1995a].</p>
Werkzeuge	<p>Werkzeuge oder Tools dienen der Unterstützung von Methoden, Techniken, Verfahren und Notationen [SCHAAF 2000, S.155].</p>

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 *Reikhofer, 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.*
Klipsmontage 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 *Sauerer, 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 *Wirba, 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 *Tuczek, H.*
Inspektion von Karosseriepreßteilen 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 3-540-54076-8
- 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 *Schrüfer, 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 Zustandesregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helml, 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 *Bomm, 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. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56890-5
- 62 *Stetter, R.*
Rechnergestützte Simulationswerkzeuge 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 *Kummetsteiner, 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 *Zelmayer, 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 *Raith, 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 *Zwanzer, N.*
Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifbearbeitung
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58663-2
- 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 Produktionszellen
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 *Rockland, 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 *Köhler, 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 *Koehrer, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden 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 *Plöb, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgeleitete Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, 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, utz@utzverlag.com

- 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 ist das 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**
95 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 **Laser 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

Forschungsberichte iw b

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

Forschungsberichte iw b ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, utz@utzverlag.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 · lieferbar ab ca. 02/01
- 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
 lieferbar ab ca. 09/01
- 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 Fährer
Ganzheitliche 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 Weißenberger
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 Schraubenverbindungen 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

