

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 iw b

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

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iw b)

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
Tel.: 089/277791-00 - Fax: 089/277791-01

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 |

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].

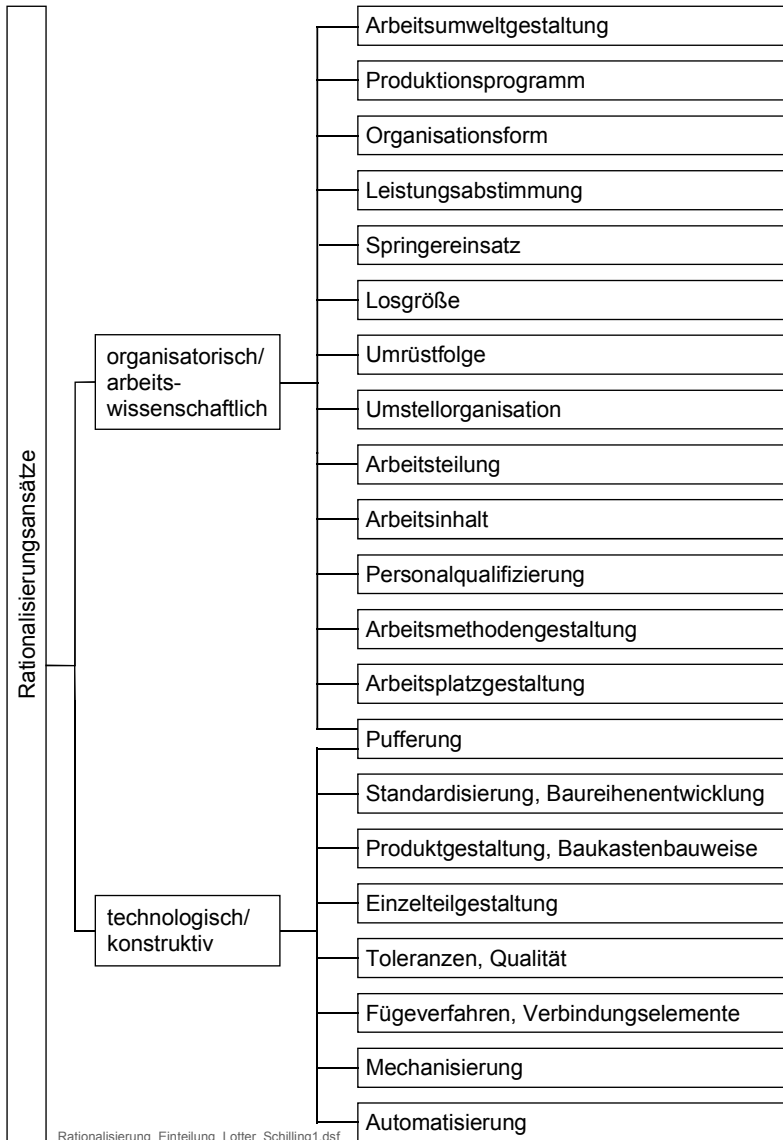


Abbildung 1.1: Rationalisierungsansätze nach LOTTER & SCHILLING (1994)

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].

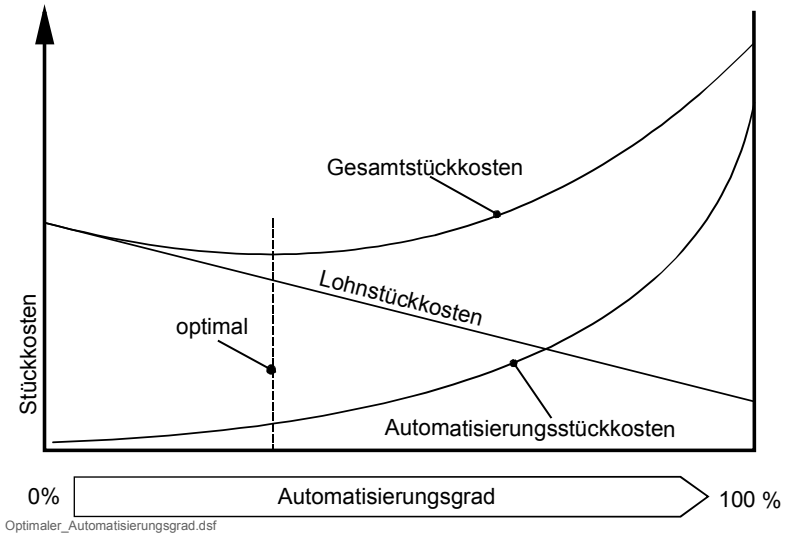


Abbildung 1.2: Stückkosten eines Produktes in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad (nach FICHTMÜLLER 1996)

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.

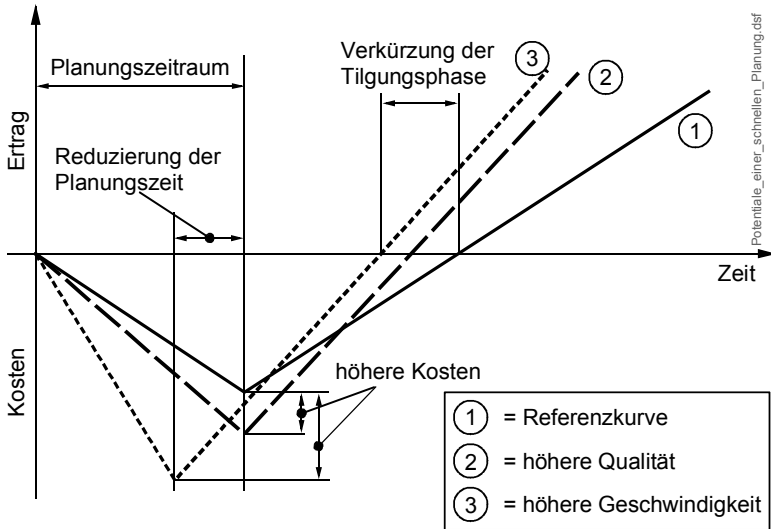


Abbildung 1.3: Potentiale einer schnellen Planung (nach SCHILDE 1982)

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].

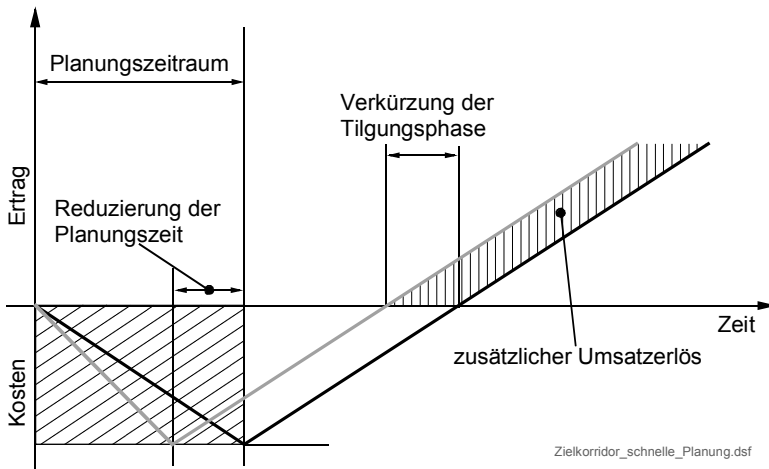


Abbildung 1.4: Zielsetzung der Arbeit

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.

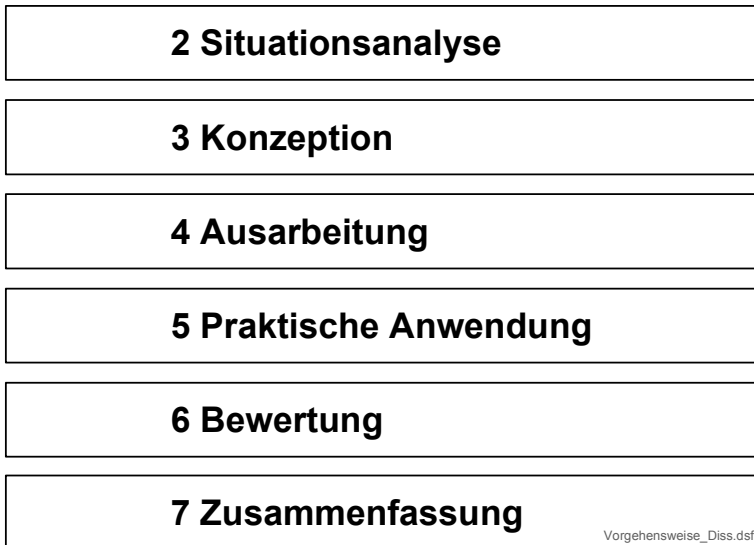


Abbildung 1.5: Vorgehensweise und Gliederung der Arbeit

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.