

**Konstruktionsbegleitende Montageprozeßplanung -
ein Beitrag zur Qualitätsverbesserung in der
automatisierten Montage**

Vom Promotionsausschuß der
Technischen Universität Hamburg - Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

von

Gerd Göbel

aus

Hagen/Westfalen

1999

1. Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Klaus Rall
2. Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Dierk Götz Feldmann
Tag der mündlichen Prüfung:	13. September 1999

Schriftenreihe des Arbeitsbereichs
Werkzeugmaschinen und Automatisierungstechnik
der Technischen Universität Hamburg-Harburg

Band 11

Gerd Göbel

**Konstruktionsbegleitende Montageprozeßplanung -
ein Beitrag zur Qualitätsverbesserung
in der automatisierten Montage**

Shaker Verlag
Aachen 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Göbel, Gerd:

Konstruktionsbegleitende Montageprozessplanung - ein Beitrag zur
Qualitätsverbesserung in der automatisierten Montage / Gerd Göbel.

- Als Ms. gedr. - Aachen : Shaker, 1999

(Schriftenreihe des Arbeitsbereichs Werkzeugmaschinen
und Automatisierungstechnik der Technischen Universität
Hamburg-Harburg ; Bd. 11)

Zugl.: Hamburg-Harburg, Techn. Univ., Diss., 1999

ISBN3-8265-6784-6

Copyright Shaker Verlag 1999

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-6784-6

ISSN 1438-8529

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Arbeitsbereich Werkzeugmaschinen und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Rall, dem Leiter des Arbeitsbereichs, gilt mein besonderer Dank für die engagierte Betreuung dieser Arbeit. Seine vielseitigen Unterstützungen, die kritische Durchsicht meiner Arbeit sowie die konstruktiven Anregungen haben sehr zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dierk Götz Feldmann danke ich für die Übernahme des Korreferats und seine Anmerkungen zu dieser Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Friedrich Küppersbusch, der die Kooperation mit der Firma Wessel-Werk GmbH & Co. initiiert und wohlwollend gefördert hat.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abkürzungen, Begriffe und Formelzeichen	IV
1 Einleitung	1
1.1 Einführung	1
1.2 Problemstellung	2
2 Stand der Erkenntnisse.....	5
2.1 Begriffsdefinitionen	5
2.1.1 Begriffe der Konstruktion und Produktgestaltung	6
2.1.2 Begriffe der Montage- und Handhabungstechnik	6
2.2 Systemtechnik und Problemlösung.....	8
2.3 Planungsmethoden und Vorgehensweisen	11
2.3.1 Produktentwicklung und Konstruktion	12
2.3.2 Montageplanung.....	16
2.4 Projektmanagement und Simultaneous Engineering	21
2.5 Qualitätssicherung als unternehmensumfassende Aufgabe.....	25
2.5.1 Bedeutung der Qualitätsforderungen und -merkmale	27
2.5.2 Methoden und Verfahren zur Qualitätsbewertung.....	29
2.5.2.1 Präventive Methoden	29
2.5.2.2 Prüfende Methoden.....	32
2.6 Fazit der Analysen	33
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	35
3.1 Rahmenziel.....	35
3.2 Anforderungen und Teilaufgaben	35
3.3 Vorgehensweise	37

4	Modell für die konstruktionsbegleitende Montageprozeßplanung	39
4.1	Abgrenzung der Montageprozeßplanung	39
4.2	Informationsbasis in der aktuellen Planungssituation	40
4.3	Potential der Montageprozeßplanung	42
4.4	Grundsätzlicher Ansatz der Prozeßplanung	45
5	Analyse und Modellierung von Montageprozessen	49
5.1	Phasenmodell für das Fügen durch Zusammensetzen	51
5.2	Charakterisierung der Montagephasen.....	55
5.2.1	Montagetechnische Prozeßfunktionen	58
5.2.2	Prozeßelemente	63
5.2.3	Fehlereinflüsse und Wirkzusammenhänge in den Prozeßphasen	66
5.3	Beschreibung des Fehlerpotentials durch einen Prozeßfehlerbaum	70
5.4	Quantifizierung des Fehlerpotentials	76
5.4.1	Fehlerbäume mit stetigen, normalverteilten Ereignissen.....	76
5.4.2	Verallgemeinerung auf beliebige Verteilungsfunktionen	78
5.4.2.1	Analytische Lösung des Faltungsintegrals	79
5.4.2.2	Numerische Lösung des Faltungsintegrals	82
5.5	Analyse der Prozeßstreuungsfaktoren.....	84
5.5.1	Prozeßstreuung beim Bestimmen der geometrischen Anordnung.....	85
5.5.2	Prozeßstreuung beim Bewegen	89
5.5.3	Prozeßstreuung beim Erzeugen der Verbindungskräfte	89
5.6	Quantifizierung des Toleranzbereiches	90
5.7	Technischer und wirtschaftlicher Nutzen von Prozeßsicherheit.....	93
6	Konzeption der Planungsmethodik	96
6.1	Ablauf der Montageprozeßplanung.....	97
6.2	Organisatorische Eingliederung der Montageprozeßplanung.....	99
6.3	Informationsumsatz bei der Montageprozeßplanung.....	101
6.4	Konzept für die Einbindung rechnergestützter Werkzeuge.....	104

7	Anwendungsbeispiele	106
7.1	Systematische Prozeßplanung bei Kunststoff-Spreizverbindungen	107
7.1.1	Montagetechnische Anforderungen der Spreizverbindungen.....	109
7.1.2	Planung einer flexiblen Montagezelle.....	112
7.1.3	Analyse der Gelenk-Stützen-Verbindung	113
7.1.4	Prozeßkraftniveau der Gelenk-Unterteil-Verbindung.....	117
7.2	Konzept zur Qualitätsüberwachung der Spreizverbindungen	119
7.3	Diskussion der Umsetzung und der Ergebnisse	123
8	Zusammenfassung und Ausblick	124
9	Literaturverzeichnis.....	127
10	Anhang	137
10.1	Anhang 1: Anmerkungen zur Vorklärungsphase	137
10.2	Anhang 2: Ergebnisse der Nutzwertanalyse	137
10.3	Anhang 3: Wirtschaftlichkeitsvergleich	139

Abkürzungen, Begriffe und Formelzeichen

Abkürzungen

AEM	Hitachi Assemblability Evaluation Method
BT	Basisteil
CAD	Computer-Aided-Design
DIN	Deutsche Institut für Normung
DFA	Design For Assembly
FEM	Finite-Elemente-Methode
FMEA	Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse
FT	Fügeteil
IR	Industrieroboter
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Repair
QRK	Qualitätsregelkarte
QS	Qualitätssicherung
REFA	Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.
SCARA	Horizontalknickarmroboter (Selective Compliance Assembly Robot Arm)
SE	Simultaneous Engineering
SPC	Statistical Process Control
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VWF	Vibrationswendelförderer

Begriffe

Basisteil	Bauteil mit Eigenschaften, die den Aufbau einer Baugruppe unterstützen, d. h. lagebeständig, zentrierfähig und steif sowie Zugänglichkeit durch einfache Fügebewegung;
bottom-up	Vorgehen beim hierarchischen Gliedern von unten nach oben (vom Detail zum Ganzen);
Fehlerrate	Verhältnis der Anzahl fehlerhafter Montageprozesse zur Gesamtanzahl;
Fügespiel	Maßdifferenz zwischen Innen- und Außenteil beim Ansetzen und Fügen der Bauteile;

Fügeteil	Bauteil, das zum jeweiligen Basisteil zugeführt und mit diesem montiert wird;
Pose	Position und -orientierung;
Prozeßelemente	Fügeteile und Betriebsmittel, die am Montageprozeß beteiligt sind;
top-down	Vorgehen beim hierarchischen Gliedern von oben nach unten (vom Ganzen zum Detail);

Formelzeichen

A, B, C °	Rotationsachsen bezüglich der kartesischen Koordinaten
u, v, w mm	kartesisches Körperkoordinatensystem eines Fügeteiles
x, y, z mm	raumfestes, kartesisches Bezugskordinatensystem
Dx, Dy, mm	Positionsabweichungen bezüglich des kartesischen
Dz	Bezugskordinatensystem
δ mm	Positionsversatz (Lateralversatz)
φ °	Winkelversatz (Angularversatz)
s -	Standardabweichung
m -	Mittelwert
Fa N	Axialkraft
Fr N	Radialkraft
F(p) -	Ausfallwahrscheinlichkeit einer Einheit p
P(x) -	Wahrscheinlichkeit des Ereignisses x
R(p) -	Überlebenswahrscheinlichkeit einer Einheit p
S(x) -	Systemfunktion einer Einheit
T -	Transformationsmatrix
W Nm	Arbeit (Integral der Fügkraft über den Fügeweg)

Häufig verwendete Indizes

BT	Basisteil
BTA	Basisteilaufnahme
FT	Fügeteil
G	Greifer
HHG	Handhabungsgerät
SCHW	Schwenkachse
WT	Werkstückträger