

**FLEXIBEL AUTOMATISIERTE MONTAGE
HOCHPOLIGER RUNDKABEL**

Von der Fakultät Konstruktions- und Fertigungstechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung
der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Ralf Cramer
aus Limburgerhof

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. H.J. Warnecke
Mitberichter: Prof. Dipl.-Ing. A. Jung

Tag der Einreichung: 18. Mai 1994
Tag der mündlichen Prüfung: 03. November 1994

Ralf Cramer

**Flexibel automatisierte
Montage hochpoliger
Rundkabel**

Mit 59 Abbildungen

**Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest 1995**

Dipl.-Ing. Ralf Cramer

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. h. H. J. Warnecke

o. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. H.-J. Bullinger

o. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN-13: 978-3-540-58979-2

e-ISBN-13: 978-3-642-47961-8

DOI: 10.1007/978-3-642-47961-8

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1995.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Gesamtherstellung: Copydruck GmbH, Heimsheim

SPIN 10496601

62/3020-6543210

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muß, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, die die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muß dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z.B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern geleiteten Institute, das

- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart (IFF),
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT)
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe "IPA-IAO - Forschung und Praxis" herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluß dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Springer-Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

H.J. Warnecke H.-J. Bullinger

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. h.c. mult. Dr.-Ing. H.J. Warnecke für die großzügige Unterstützung und Förderung, die zum erfolgreichen Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Dipl.-Ing. A. Jung danke ich für die Übernahme des Mitberichtes sowie für die wertvollen Hinweise, die sich daraus ergeben haben.

Für die Unterstützung durch viele Anregungen und konstruktive Kritik möchte ich aus dem Kreis der Kolleginnen und Kollegen des Institutes in besonderem Maße Herrn Dr.-Ing. S. Koller, Herrn Dipl.-Ing. V. Beck, Herrn Dr.-Ing. M. Schweizer sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. R.D. Schraft danken. Ausgesprochen wertvoll war mir die Zusammenarbeit mit Herrn Dr.-Ing. H. Emmerich. Mein Dank gilt auch allen Studenten, Diplomanden und Praktikanten, die an dieser Arbeit mitgewirkt haben.

Meinen Eltern danke ich für die Voraussetzungen, die sie mir zur Durchführung dieser Arbeit geschaffen haben.

Stuttgart, im November 1994

Ralf Cramer

INHALTSVERZEICHNIS

0	<u>Abkürzungen und Formelzeichen</u>	13
1	<u>Einleitung</u>	17
1.1	Problemstellung	17
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	18
2	<u>Ausgangssituation</u>	20
2.1	Begriffe und Definitionen	20
2.2	Abgrenzung des betrachteten Produktspektrums	22
2.3	Stand der Technik	23
2.3.1	Ist-Zustand bei der Terminierung hochpoliger Rundkabel	23
2.3.2	Vorhandene Anlagen und Einrichtungen	24
3	<u>Analyse an Montagearbeitsplätzen und Anforderungen an ein flexibles Montagesystem zur Terminierung hochpoliger Rundkabel</u>	26
3.1	Analyse an Montagearbeitsplätzen	26
3.1.1	Analyse der Kabelsatzkomponenten	27
3.1.1.1	Kabel und Einzeladern	27
3.1.1.2	Endverbinder und Anschlußgeometrie	30
3.1.2	Analyse der Montagevorgänge	31
3.1.3	Produktionskenngrößen	32
3.1.3.1	Montagezeiten	32
3.1.3.2	Fehlerursachen beim Montageprozeß	33
3.1.3.3	Branchenspezifische Randbedingungen	34
3.1.4	Automatisierungshemmnisse	35

3.2	Folgerungen aus den Analyseergebnissen und Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten für ein System zur flexiblen Terminierung hochpoliger Rundkabel	37
3.3	Anforderungen an ein flexibles Montagesystem zur Terminierung hochpoliger Rundkabel	38
4	<u>Konzeption und Entwicklung von Verfahren und Werkzeugen zur Vereinzelung der Adern</u>	40
4.1	Verfahren zur Vereinzelung der Adern	40
4.1.1	Konzeption von Alternativen zur Vereinzelung der Adern	40
4.1.2	Bewertung der Alternativen und Auswahl eines Verfahrens	41
4.1.3	Theoretische Betrachtung des Vereinzelungsprozesses	42
4.1.3.1	Definition eines Phasenmodells	42
4.1.3.2	Vereinzelungsphase I	44
4.1.3.3	Vereinzelungsphase II	46
4.1.3.4	Vereinzelungsphase III	48
4.1.3.5	Ermittlung der optimalen Nutzfunktion	49
4.1.3.6	Analytische Auslegung des Werkstückträgers	51
4.1.4	Experimentelle Untersuchungen und Ermittlung von Einflußfaktoren	55
4.1.4.1	Ermittlung der erforderlichen Zug- und Druckkräfte in der Vereinzelungsphase I	55
4.1.4.2	Ermittlung des kritischen Nutzwinkels	59
4.1.5	Optimierung des Werkstückträgers durch Variation der Parameterwerte	63
4.2	Konzeption und Entwicklung des Vereinzelungswerkzeuges	68
4.2.1	Alternativen zur Aufhängung der Positionierrolle	68
4.2.2	Integrierte Prozeßüberwachung	70
5	<u>Konzeption und Entwicklung von Verfahren und Werkzeugen für anschußspezifische Problemstellungen</u>	72
5.1	Identifikation und Zuordnung der Adern	72
5.1.1	Alternativen zur Identifikation der Adern	72

5.1.2	Identifikation und Zuordnung der Adern mit Durchgangsprüfung	73
5.1.2.1	Konzeption alternativer Kontaktierverfahren	73
5.1.2.2	Entwicklung eines elektronischen Identifikationsmoduls	74
5.2	Sortieren der Adern	76
5.2.1	Auswahl eines Sortierprinzips	76
5.2.2	Konzeption alternativer Sortierstrategien	77
5.2.3	Entwicklung eines Mehrfachgreifers zum Sortieren der Adern	80
5.3	Ausgleich von Aderlängendifferenzen	82
5.3.1	Theoretische Berechnung der Aderlängendifferenz	83
5.3.2	Konzeption von Verfahren zum Ausgleich von Aderlängendifferenzen	85
6	<u>Integration der Teilsysteme zu alternativen Gesamtsystemen zur flexibel automatisierten Terminierung hochpoliger Rundkabel</u>	86
6.1	Produktorientierte Montagesysteme	86
6.2	Alternative Montageabläufe	87
6.3	Alternativen zur Kabelbereitstellung	89
6.4	Gesamtsysteme zur Terminierung hochpoliger Rundkabel	90
6.4.1	Gesamtsystem Variante I	90
6.4.2	Gesamtsystem Variante II	92
6.4.3	Gesamtsystem Variante III	92
7	<u>Pilotanlage zur flexibel automatisierten Terminierung hochpoliger Rundkabel</u>	95
7.1	Gesamtaufbau der Pilotanlage	95
7.2	Werkzeuge und Peripheriekomponenten	96
7.2.1	Vereinzelungswerkzeug	96
7.2.2	Identifikationseinrichtung	98
7.2.3	Kontaktier- und Prüfeinrichtung	99
7.2.4	Modulare Werkstückträgererelemente	100
7.3	Steuerungskonfiguration der Gesamtanlage	100

7.4	Montageablauf	102
7.5	Versuchsergebnisse	103
7.5.1	Taktzeitanteile wichtiger Funktionen	103
7.5.2	Fehlerhäufigkeit und Störungen	104
7.6	Folgerungen aus den Versuchsergebnissen	106
8	<u>Zusammenfassung und Ausblick</u>	107
9	<u>Schrifttum</u>	110