
IPA-IAO

Forschung und Praxis

Band 142

Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation (IAO), Stuttgart, und
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

Herausgeber: H. J. Warnecke und H.-J. Bullinger



Dieter Lorenz

CAD-Video-Somatographie

**Entwicklung und Bewertung einer
Methode zur anthropometrischen
Arbeitsgestaltung**

Mit 61 Abbildungen

**Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo Hong Kong 1989**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dieter Lorenz

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), 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. H.-J. Bullinger

o. Professor an der Universität Stuttgart

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

D 93

ISBN-13:978-3-540-52163-1

e-ISBN-13:978-3-642-84093-7

DOI: 10.1007/978-3-642-84093-7

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 Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1989.

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 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
2362/3020—543210

Geleitwort der Herausgeber

Futuristische Bilder werden heute entworfen:

- o Roboter bauen Roboter,
- o Breitbandinformationssysteme transferieren riesige Datenmengen in Sekunden um die ganze Welt.

Von der "mensenleeren Fabrik" wird da gesprochen und vom "papierlosen Büro". Wörtlich genommen muß man beides als Utopie bezeichnen, aber der Entwicklungstrend geht sicher zur "automatischen Fertigung" und zum "rechnerunterstützten Büro". Forschung bedarf der Perspektive, Forschung benötigt aber auch die Rückkopplung zur Praxis - insbesondere im Bereich der Produktionstechnik und der Arbeitswissenschaft.

Für eine Industriegesellschaft hat die Produktionstechnik eine Schlüsselstellung. Mechanisierung und Automatisierung haben es uns in den letzten Jahren erlaubt, die Produktivität unserer Wirtschaft ständig zu verbessern. In der Vergangenheit stand dabei die Leistungssteigerung einzelner Maschinen und Verfahren im Vordergrund. Heute wissen wir, daß wir das Zusammenspiel der verschiedenen Unternehmensbereiche stärker beachten müssen. In der Fertigung selbst konzipieren wir flexible Fertigungssysteme, die viele verkettete Einzelmaschinen beinhalten. Dort, wo es Produkt und Produktionsprogramm zulassen, denken wir intensiv über die Verknüpfung von Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Qualitätskontrolle nach. Rechnerunterstützte Informationssysteme helfen dabei und sollen zum CIM (Computer Integrated Manufacturing) führen und CAD (Computer Aided Design) und CAM (Computer Aided Manufacturing) vereinen. Auch die Büroarbeit wird neu durchdacht und mit Hilfe vernetzter Computersysteme teilweise automatisiert und mit den anderen Unternehmensfunktionen verbunden. Information ist zu einem Produktionsfaktor geworden, und die Art und Weise, wie man damit umgeht, wird mit über den Unternehmenserfolg entscheiden.

Der Erfolg in unseren Unternehmen hängt auch in der Zukunft entscheidend von den dort arbeitenden Menschen ab. Rationalisierung und Automatisierung müssen deshalb im Zusammenhang mit Fragen der Arbeitsgestaltung betrieben werden, unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der Mitarbeiter und unter Beachtung der erforderlichen Qualifikationen. Investitionen in Maschinen und Anlagen müssen deshalb in der Produktion wie im Büro durch Investitionen in die Qualifikation der Mitarbeiter begleitet werden. Bereits im Planungsstadium müssen Technik, Organisation und Soziales integrativ betrachtet und mit gleichrangigen Gestaltungszielen belegt werden.

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.

Beispielhaft sei hier an den großen Bereich der Informationsverarbeitung im Betrieb erinnert, der von der Angebotserstellung über Konstruktion und Arbeitsvorbereitung, bis hin zur Fertigungssteuerung und Qualitätskontrolle reicht. Beim Materialfluß geht es um die richtige Aus-

wahl und den Einsatz von Fördermitteln sowie Anordnung und Ausstattung von Lagern. Große Aufmerksamkeit wird in nächster Zukunft auch der weiteren Automatisierung der Handhabung von Werkstücken und Werkzeugen sowie der Montage von Produkten geschenkt werden.

Von der Forschung muß in diesem Zusammenhang ein Beitrag zum Einsatz fortschrittlicher intelligenter Computersysteme erfolgen. Planungsprozesse müssen durch Softwaresysteme unterstützt und Arbeitsbedingungen wissenschaftlich analysiert und neu gestaltet werden.

Die von den Herausgebern geleiteten Institute, das

- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart (IFF),
- 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 Gestaltung der Mensch-Arbeitsmittel-Schnittstelle nach den Körpermaßen und biomechanischen Eigenschaften des Menschen (anthropometrische Arbeitsgestaltung) ist eine grundlegende Aufgabe der ergonomischen Arbeitsgestaltung. Die vorliegende Arbeit will einerseits die Unterschiede der wichtigsten und bekanntesten Methoden zur anthropometrischen Arbeitsgestaltung im Hinblick auf ihre Eignung und ihre Kosten bei der Anwendung herausarbeiten. Andererseits wird eine neuentwickelte Methode, die CAD-Video-Somatographie, vorgestellt und mit bestehenden Methoden verglichen.

Der Vergleich der Methoden wird über eine nutzwertanalytische Betrachtung und eine exemplarische Berechnung der Anwendungskosten durchgeführt. Die verwendeten Zielsysteme und Präferenzstrukturen wurden vom Verfasser vorgegeben und nachvollziehbar beschrieben. Andere Wertsysteme können zu anderen Ergebnissen führen. Dies gilt in ähnlicher Weise für die durchgeführte Kostenrechnung. Die in der Arbeit aufgezeigte Variation der fixen und variablen Kosten gibt hierfür erste Hinweise.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Methodenbewertung und des Methodenvergleichs wurde die CAD-Video-Somatographie entwickelt. Sie baut auf bestehenden Methoden zur anthropometrischen Arbeitsgestaltung auf und will zu einer Methodenweiterentwicklung beitragen. Aufgrund des ständig zunehmenden Einsatzes von CAD-Systemen in der Konstruktion und Arbeitsgestaltung wurde besonders darauf geachtet, daß die CAD-Video-Somatographie in Verbindung mit unterschiedlichen CAD-Systemen eingesetzt werden kann.

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO).

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Bullinger, Inhaber des Lehrstuhls für Arbeitswissenschaft der Universität Stuttgart und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), gilt für die Überlassung des Themas, die wissenschaftliche Anleitung bei der Bearbeitung und die wohlwollende Förderung der Arbeit mein herzlicher Dank. Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. G. Zülch, Inhaber des Lehrstuhls und Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft

und Betriebsorganisation der Universität Fridericiana (TH) Karlsruhe, danke ich für die eingehende Durchsicht der Arbeit und die wertvollen Anregungen.

Meinen Kollegen danke ich für ihre kritischen Hinweise und ihre stete Diskussionsbereitschaft, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. W. Bauer, Herrn Dr.-Ing. P. Kern und Herrn Dr.-Ing. L. Traut. Darüberhinaus sei all jenen gedankt, die bei der Planung und dem Aufbau des CAD-Video-Somatographie-Labors sowie der Erstellung des Manuskriptes beteiligt waren.

Mein Dank gilt auch meiner Frau Gaby und meinen Kindern Miriam und Raphaela für ihr Verständnis und ihre geduldige Unterstützung. Das Buch widme ich meinen Eltern Erna Elisabeth und Josef.

Stuttgart, im Oktober 1989

Dieter Lorenz

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	12
1 Einleitung	14
2 Bedeutung der anthropometrischen Arbeitsgestaltung	16
2.1 Ergonomische Arbeitsgestaltung	16
2.2 Anthropometrische Arbeitsgestaltung	19
3 Zielsetzung und Vorgehensweise zur Entwicklung und Bewertung der CAD-Video-Somatographie	25
4 Bestehende Methoden anthropometrischer Arbeitsgestaltung	28
4.1 Klassifizierung bestehender Methoden	28
4.2 Beschreibung ausgewählter Methoden	31
4.2.1 Probandenorientierte Methoden	31
4.2.1.1 Direkte Methoden	31
4.2.1.2 Indirekte Methoden	34
4.2.2 Modellorientierte Methoden	37
4.2.2.1 Konventionelle Methoden	37
4.2.2.2 Rechnerunterstützte Methoden	40
4.2.3 Zusammenfassende Darstellung	44
5 Bewertung und Vergleich ausgewählter Methoden	47
5.1 Eingrenzung des Methodenspektrums	47
5.2 Beschreibung der Bewertungsmethodik	49
5.2.1 Nutzwertanalyse	50
5.2.1.1 Kriterienkatalog zur Beurteilung der Methoden	50
5.2.1.2 Bewertungsschlüssel und Erfüllungsgrade	50
5.2.1.3 Gewichtungsfaktoren der Zielkriterien	50
5.2.1.4 Ergebnisse der Nutzwertanalyse	53

5.2.2	Kosten der ausgewählten Methoden	55
5.2.2.1	Festlegung der Kostenarten	56
5.2.2.2	Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Anwendungshäufigkeit der Methoden	57
5.2.3	Definition des Methodenwertes aus Nutzwert und Kosten	58
5.3	Kritische Würdigung und Anforderungen an neue Methoden	61
6	Entwicklung der CAD-Video-Somatographie	64
6.1	Funktionsbeschreibung	64
6.2	Konfiguration von Hard- und Software im CAD-Video-Somatographie-Labor	66
6.2.1	CAD-Bereich	68
6.2.2	Probandenaufnahmebereich	70
6.2.3	Regiebereich	71
6.3.	Verfahrensschritte zur Analyse und Gestaltung der Mensch-Arbeitsmittel-Schnittstelle	75
6.4	Fehlerbetrachtung des Gesamtsystems CAD-Video-Somatographie	80
6.4.1	Technisches System	81
6.4.2	Bewegungsraum-/Objekttiefe	84
6.4.3	Proband	87
6.4.4	Mensch-Arbeitsmittel-Interaktion	89
6.4.5	Beurteilung durch den Methodenanwender	90
6.4.6	Gesamtfehler	91
6.5	Anwendungsgebiete und Einsatzgrenzen der entwickelten Methode	92
7	Bewertung und Vergleich der CAD-Video-Somatographie mit ausgewählten Verfahren	94
7.1	Bewertung der CAD-Video-Somatographie	94
7.1.1	Nutzwertanalyse der CAD-Video-Somatographie	94
7.1.2	Kosten der CAD-Video-Somatographie	96
7.1.3	Methodenwerte der CAD-Video-Somatographie	97
7.2	Vergleichende Betrachtung	98

8	Anwendungsbeispiel	102
8.1	Beschreibung des ausgewählten Entgratarbeitsplatzes	103
8.2	Analyse der Mensch-Arbeitsmittel-Schnittstelle im Ist-Zustand	104
8.3	Gestaltung des Neu-Zustands	108
9	Zusammenfassung	114
10	Schrifttum	117
10.1	Literatur	117
10.2	Normen und Richtlinien	126
11	Anhang	127
11.1	Charakteristika zur Beschreibung alternativer Methoden anthropometrischer Arbeitsgestaltung	127
11.2	Kriterienkatalog der nutzwertanalytischen Betrachtung	128
11.3	Bewertungsschlüssel für die nutzwertanalytische Betrachtung	136
11.4	Hierarchische Zielsysteme der Varianten 2 bis 4 der nutzwertanalytischen Betrachtung	139
11.5	Ergebnisse der nutzwertanalytischen Betrachtung der Varianten 2 bis 4	143
11.6	Beschreibung der Kostenarten und Multiplikatoren für den Methodenvergleich	147
11.7	Aufstellung der Methodenkosten	150
11.7.1	Kosten der Video-Somatographie	150
11.7.2	Kosten der Körpermaßtabelle	152
11.7.3	Kosten der Körperumrißschablone	152
11.7.4	Kosten der Kieler Puppe	153
11.7.5	Kosten des Menschmodells FRANKY	154
11.7.6	Kosten des Menschmodells OSCAR	154
11.8	Methodenwerte der Anwendungsfälle 2 bis 4	155
11.9	Testbilder zur Ermittlung des Systemfehlers	157
11.10	Ansichten des im CADVSL analysierten Ist-Zustandes und des gestalteten Neu-Zustandes eines Entgratarbeitsplatzes	159
11.11	Beispielhafte Installation eines CADVSL	162
11.12	Variation der sprungfixen und variablen Kosten	163

Formelzeichen und Abkürzungen

<u>Zeichen</u>	<u>Einheit</u>	<u>Bedeutung</u>
A	%	Abweichung der Testbildlinien
a	m	Gegenstandsweite, Aufnahmeabstand
B		Bedeutungsschlüssel
BA		Bandabsorption
b	mm	Bildweite
CAB		CAD-Bereich
CAD		Computer Aided Design
CADVS		CAD-Video-Somatographie
CADVSL		CAD-Video-Somatographie-Labor
CPU		Central Processor Unit
c	m	Bewegungsraum-/Objekttiefe
D		Sonderschlüssel für Dokumentation
d		Dimension, dimensionial
E		Erfüllungsgrad
EKG		Elektrokardiogramm
F	%	Relativer Fehler
F _G	%	Relativer Gesamtfehler
F _O	%	Relativer optischer Fehler
F _P	%	Relativer probandenspezifischer Fehler
F _T	%	Relativer technischer Fehler
G'		(normierter) Gewichtungsfaktor
H	m	Gegenstandshöhe
H'	m	Reduzierte Gegenstandshöhe
h	mm	Bildhöhe
h'	mm	Reduzierte Bildhöhe
IAO		Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
IR		Infrarot
K	DM/a	Gesamtkosten pro Jahr
K _A	DM/a	Abschreibungskosten pro Jahr
K _a	DM	Kosten pro Anwendung
K _E	DM/h	Energiekosten pro Stunde
K _I	DM/a	Instandhaltungs- und Wartungskosten pro Jahr
K _L	DM/h	Lohnkosten pro Stunde

KR	DM/a	Raumkosten pro Jahr
KS	DM/a	Schulungskosten pro Jahr
K _V	DM/h	Variable Zusatzkosten pro Stunde
KZ	DM/a	Kalkulatorische Zinsen pro Jahr
MEW _{x_a}		Methodenwert bei Anwendungshäufigkeit x _a einer Methode
MTM		Methods-Time Measurement
m		Ganzzahlige Laufvariable zur Bestimmung der Methodenanzahl
N _p		prozentualer Nutzwert
n		Brechungsindex
P ₀ , P ₁ , P ₂		Meßpunkte
PAB		Probandenaufnahmebereich
PAL		Phase Alternating Line
PC		Personal Computer
p		Statistische Signifikanz
q		Quotient des Methodenbedarfs
R		Schlüssel für realitätsgetreue Wiedergabe/Darstellung von Arbeitssystemelementen
R ₁ , R ₂ , R ₃		Seilzug-Trio mit dem Schnittpunkt P1
REB		Regiebereich
RGB		Rot/Grün/Blau
SPSS		Statistical Package for the Social Science
t _a	h	Anwendungszeit einer Methode in Stunden
t _v	h/a	Verfügbarkeit einer Methode in Stunden pro Jahr
UV		Ultraviolett
VP		Versuchsperson
W		Wandlungsschlüssel
w _f		Kostenfaktor für Instandhaltung
x _a	1/a	Anwendungshäufigkeit pro Jahr
x _k		Anzahl benötigter Methoden
x, y, z		Kartesisches Koordinatensystem
x ₁ , y ₁ , z ₁		
ZAB		Zeichnungsaufnahmebereich
Z1, Z2		Zeitschlüssel
α	deg	Bildwinkel
β	deg	Reduzierter Bildwinkel