

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Formelzeichen	9
1. Defizite bei der Planung der Arbeitsteilung in manuellen Montagesystemen	15
1.1 Tendenzen in der Montage	15
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	17
1.3 Vorgehensweise	22
2. Stand der Technik in der Montagesystemgestaltung	25
2.1 Methodiken zur Montagesystemgestaltung	25
2.2 Aufgaben und Verfahren der Ablaufplanung	29
2.2.1 Montagebezogene Erzeugnisstrukturierung	29
2.2.2 Grobstrukturierung des Montagesystems	34
2.2.3 Festlegung der Arbeitsteilung	36
2.2.4 Durchführung der Leistungsabstimmung	39
2.2.5 Defizite und Anforderungen	41
3. Systemtheoretische Betrachtung der manuellen Montage	45
3.1 Modell der manuellen Montage	46
3.1.1 Festlegung des Detaillierungsgrades der Modellbildung	47
3.1.2 Modell des Erzeugnisses	49
3.1.2.1 Modellierung von Teilen und Gruppen	50
3.1.2.2 Modellierung von Montagevorgängen	52
3.1.2.3 Modellierung gruppentechnologischer Organisationsformen	54
3.1.2.4 Komplexgraph für Variantenfamilien	56

3.1.3	Modell des Auftragsprogramms	61
3.1.4	Modell des Arbeitssystems	66
3.2	Abbildungsmethoden	72
3.2.1	Abbildung von Vorranggraphen auf Komplexgraphen	73
3.2.1.1	Methoden zur Bestimmung der Ähnlichkeit von Merkmalen	74
3.2.1.2	Bildung von Variantenfamilien mittels Clusteranalyse	75
3.2.2	Abbildung eines Komplexgraphen auf Teil- arbeitssysteme	79
3.2.3	Aufteilung eines Teilarbeitssystems auf Arbeitsplatzgruppen	80
3.2.4	Aufteilung von Arbeitsplatzgruppen auf Arbeitsplätze	85
4.	Grundlagen zur Untersuchung	89
4.1	Arbeitshypothesen	89
4.1.1	Einfluß der Schiefe von Komplexgraphen	90
4.1.2	Einfluß der Linearität von Komplexgraphen	92
4.1.3	Einfluß der Variantenabhängigkeit von Komplexgraphen	93
4.2	Modellbeschreibende Parameter	94
4.2.1	Parameter zur Beschreibung des Erzeugnisses	95
4.2.1.1	Bekannte Kennzahlen	95
4.2.1.2	Knotenschwerpunkt von Graphen	99
4.2.1.3	Variantenabhängigkeit des Knoten- schwerpunkts	104
4.2.2	Parameter zur Beschreibung der Montage	107
4.2.3	Zielgrößen zur Bewertung der ablauforgani- satorischen Güte eines Montagesystems	111
4.2.3.1	Durchlaufzeit	112
4.2.3.2	Durchlaufzeitabweichung	114
4.2.3.3	Auslastung	116
4.3	Das Simulationsverfahren FEMOS	117

4.4	Der Modellgenerator GAMMA	120
4.4.1	Erzeugen von Erzeugnissen	121
4.4.2	Erzeugen der Aufträge	122
4.4.3	Festlegung des Arbeitssystems	125
4.4.4	Dimensionierung der Auswertungsphase	126
5.	Einfluß erzeugnisbeschreibender Parameter auf die Arbeitsteilung	129
5.1	Untersuchung des Einflusses der Schiefe in Komplexgraphen auf Arbeitssysteme	129
5.1.1	Faktorversuchsplan	130
5.1.2	Vollständiger Versuchsplan	136
5.1.3	Ergebnis der Analyse	139
5.2	Untersuchung des Einflusses der Linearität von Komplexgraphen	140
5.2.1	Faktorversuchsplan	141
5.2.2	Vollständiger Versuchsplan	146
5.2.3	Ergebnis der Analyse	150
5.3	Untersuchung des Einflusses der Variantenabhängigkeit des Komplexgraphen	150
5.3.1	Faktorversuchsplan	151
5.3.2	Ergebnisse der Analyse	156
5.4	Ableitung eines analytischen Ansatzes zur Festlegung der Arbeitsteilung	156
6.	Realisierung eines Planungsverfahrens zur Festlegung der Arbeitsteilung	165
6.1	Erfassung der erzeugnis- und auftragsspezifischen Daten	165
6.2	Konzipierung eines Montagesystems	169
6.2.1	Voraussetzungen für die Festlegung der Arbeitsteilung	169
6.2.2	Rechnerunterstützte Festlegung der Arbeitsteilung	171
6.2.3	Bewertung der Gestaltungslösung	173

7.	Planung der Montage einer Herdschaltuhr	179
7.1	Beschreibung des Erzeugnisses	179
7.2	Planung des Montagesystems	181
8.	Zusammenfassung und Ausblick	187
9.	Literaturverzeichnis	191
9.1	Quellen	191
9.2	Verwendete Abkürzungen	216
10.	Anhang	217
10.1	Beschreibung der entwickelten Algorithmen	217
10.1.1	Auffinden von Teilgraphautomorphismen	218
10.1.2	Bildung von Komplexgraphen	220
10.2	Auszug aus den verwendeten Kapazitätsfeldern	222
10.3	Auszug aus den generierten Auftragsprogrammen	223
10.4	Ergebnisse der Untersuchung zur ersten Hypothese	224
10.5	Ergebnisse der Untersuchung zur zweiten Hypothese	225
10.5.1	Faktorversuchspläne zur zweiten Hypothese	225
10.5.2	Signifikanztests für zur zweiten Hypothese	230
10.5.3	Ausgewählte Simulationsergebnisse des vollständigen Versuchsplans zur zweiten Hypothese	232
10.6	Durchschnittliche Energieumsätze von Bewegungselementen des MTM-UAS-Verfahrens	233

Verzeichnis der Formelzeichen

Formelzeichen	Bezeichnung	Definiert bzw. zuerst verwendet in Abschnitt
$\lceil a \rceil$	kleinste ganze Zahl $\geq a$ (Aufrundung)	3.1.2
a^T	transformierter Wert von a	5.1.1
α	Signifikanzniveau	5.1.2
AAP	Anzahl Arbeitsplätze	3.2.2.1
AAU	Anzahl Aufträge	3.1.2
AEV	Anzahl Erzeugnisvarianten	3.1.2
AEZ	Anzahl Einzelziele des Zielsystems	5.4
AFG	Arbeitsflußgrad	4.2.3.1
AFL	Anzahl Flächen	4.2.1.2
AKB	abgearbeiteter Kapazitätsbedarf	4.2.3.3
AKK	Anzahl Kapazitätsknoten	5.1.1
ALG	Auslastungsgrad	4.2.3.3
AMV	Ähnlichkeitsmaß	3.2.1.2
ANF	Anzahl Nachfolger eines Knoten	4.2.1.1
AP	Anzahl Arbeitstage einer Periode	3.1.2
APG	Arbeitsplatzgruppe	3.1.3
APL	Arbeitsplatz	4.2.2
ARG	Anzahl Ränge	4.2.1.1
AS	tägliche Anzahl Schichten	3.1.2
ASY	Arbeitssystem	3.1.3
ATA	Anzahl automorpher Teilgraphen	3.2.1.2
$AT\ddot{A}$	Anzahl Tätigkeitsklassen	5.4
ATK	Anzahl Teilvorgänge	4.2.1.1
ATP	Anzahl Präzedenzrelationen	4.2.1.1
AUF	Auftrag	3.1.3
AVG	Anzahl Vorgänger eines Knoten	4.2.1.1
AVK	Anzahl variantenabhängiger Teilvorgangsknoten	4.2.1.3

Formelzeichen	Bezeichnung	Definiert bzw. zuerst verwendet in Abschnitt
<i>BGR</i>	Breite des Graphen	4.2.1.1
<i>BLG</i>	Belegungsgrad	5.2
<i>c</i>	Laufvariable	3.2.1.2
<i>C_A</i>	zeitlicher Auftragsbedarf	3.1.2
<i>C_E</i>	zeitlicher Einsatzbedarf	3.1.2
<i>C_Z</i>	zeitlicher Zusatzbedarf	3.1.2
<i>DAG</i>	Grad der Durchlaufzeitabweichung	4.2.3.2
<i>DLA</i>	Durchlaufzeitabweichung	4.2.3.2
<i>e, E</i>	Index bzw. Indexmenge für Ebenen	4.3.1.2
<i>EFS</i>	Einheit der Faktorstufen	5.1.1
<i>ERE</i>	Erzeugniselement	3.2.3
<i>ES</i>	theoretische Einsatzzeit je Schicht	3.1.2
<i>FTS</i>	Faktorstufe	5.1.1
<i>GAT</i>	Grad der Arteilung	4.2.2.1
<i>GEZ</i>	Gewichtungsgrad eines Einzelziels	5.4
<i>GMT</i>	Grad der Mengenteilung	4.2.2.1
<i>GZG</i>	Gesamtzielerreichungsgrad	5.4
<i>i, I</i>	Index bzw. Indexmenge für Teilvorgänge bzw. ihrer Teilvorgangsknoten	3.1.2.2
<i>IFL</i>	Inhalt einer Fläche	4.2.1.2
<i>j, J</i>	Index bzw. Indexmenge für Präzedenzrelationen bzw. ihrer Teilvorgangspfeile	3.1.2.2
<i>k</i>	Index bzw. Indexmenge für Erzeugnisvarianten bzw. ihrer Vorranggraphen	3.1.2.2
<i>KAG</i>	Kapazitätsgraph	3.1.3
<i>kak</i>	Kapazitätsknoten	3.1.3
<i>KAK</i>	Menge der Kapazitätsknoten	3.1.3
<i>kap</i>	Kapazitätspfeil	3.1.3
<i>KAP</i>	Menge der Kapazitätspfeile	3.1.3
<i>KAX</i>	x-Koordinate des Knotenschwerpunkts des Kapazitätsgraphen	4.2.2.1
<i>KOG</i>	Komplexitätsgrad	5.2
<i>KOM</i>	Komplexität	5.2

Formelzeichen	Bezeichnung	Definiert bzw. zuerst verwendet in Abschnitt
<i>KSX</i>	x-Koordinate des Knotenschwerpunkts eines Komplexgraphen	4.2.1.2
<i>KSY</i>	y-Koordinate des Knotenschwerpunkts eines Komplexgraphen	4.2.1.2
<i>KTZ</i>	kumulierte Tätigkeitszeit	3.1.3
<i>KVX</i>	x-Koordinate des variantenabhängigen Knotenschwerpunkts eines Komplexgraphen	4.2.1.3
<i>KVY</i>	y-Koordinate des variantenabhängigen Knotenschwerpunkts eines Komplexgraphen	4.2.1.3
<i>KWZ</i>	kumulierte Wartezeit	3.1.3
<i>KXG</i>	Komplexgraph	3.1.2.4
<i>l</i>	Index bzw. Indexmenge für Variantenfamilien bzw. ihrer Komplexgraphen	3.1.1.4
<i>LGR</i>	Länge eines Graphen	4.2.1.1
<i>LVK</i>	Lage der Variantenabhängigkeit des Komplexgraphen	4.2.1.3
<i>m</i>	Fertigungsmenge	3.1.2
<i>MFS</i>	Mittelwert der Faktorstufen	5.1.1
<i>MOM</i>	Montagemittel	3.2.3
<i>n</i>	Index bzw. Indexmenge für Kapazitätsknoten	3.1.4
<i>n_E</i>	zahlenmäßiger Einsatzbedarf an Kapazitätseinheiten	3.1.2
<i>NTG</i>	normierter Teilungsgrad	4.2.2.1
<i>o, O</i>	Index bzw. Indexmenge für Kapazitätspfeile	3.1.4
<i>OFS</i>	obere Faktorstufe	5.1.1
<i>p, P</i>	Index bzw. Indexmenge für automorphe Teilgraphen	3.2.1.2
<i>PAG</i>	Parallelitätsgrad	5.2
<i>q_T</i>	theoretischer zeitlicher Kapazitätsbestand einer Kapazitätseinheit	3.1.2
<i>r, R</i>	Index bzw. Indexmenge für Ränge	4.2.1.2
<i>R²</i>	Bestimmtheitsmaß	5.1.2
<i>RPZ</i>	relative Pfeilzahl	5.2

Formel- zeichen	Bezeichnung	Definiert bzw. zuerst verwendet in Abschnitt
s, S	Index bzw. Indexmenge für Aufträge	3.1.3
SPX	Schwerpunkt in x-Richtung	4.2.1.2
SPY	Schwerpunkt in y-Richtung	4.2.1.2
t, T	Index bzw. Indexmenge für Flächen	4.3.1.2
$t_{AA,s}$	ablaufbedingte Liegezeiten	4.2.3.1
$t_{AF,s}$	Förderzeiten	4.2.3.1
t_{dS}	Durchführungszeit	4.2.3.1
t_e	Zeit pro Einheit	3.1.3
t_{er}	Erholungszeit	3.1.3
t_r	Rüstzeit	3.1.3
t_t	Tätigkeitszeit	3.1.3
t_v	Verteilzeit	3.1.3
t_w	Wartezeit	3.1.3
$t_{zuS,s}$	Zusatzzeit des Auftrags s	4.2.3.1
$t_{zwS,s}$	Zwischenzeit des Auftrags s	4.2.3.1
$T_{D,s}$	Durchlaufzeit des Auftrag s	4.2.3.1
TAS	Teilarbeitssystem	3.1.3
TTK	Tätigkeitsklasse	5.4
TGA	Teilgraphautomorphismus	3.2.1.2
TLG	Teilungsgrad	4.2.2.1
tvk	Teilvorgang	3.1.1.2
TVK	Menge aller Teilvorgänge	3.1.1.2
tvp	Präzedenzrelation	3.1.1.2
TVP	Menge aller Präzedenzrelationen	3.1.1.2
u	Index bzw. Indexmenge für Einzelziele	5.4
UFS	untere Faktorstufe	5.1.1
VAK	Variantenabhängigkeit des Komplexgraphen	4.2.1.3
VRG	Vorranggraph	3.1.1.2
w, W	Index bzw. Indexmenge für Faktorstufen	5.1.1
WDG	Wiederholungsgrad	5.4
x	Platzhalter für fehlende Teile eines MTM-UAS-Codes	3.2.3
XKS	x-Koordinate des Schwerpunkts einer Fläche	4.2.1.2

Formelzeichen	Bezeichnung	Definiert bzw. zuerst verwendet in Abschnitt
y, Y	Index bzw. Indexmenge für Tätigkeitsklassen	5.4
YKS	y-Koordinate des Schwerpunkts einer Fläche	4.2.1.2
z_{er}	Erholungszuschlag	3.1.3
z_v	Verteilzeitprozentsatz	3.1.3
KXG	Komplexgraph	3.1.1.4
ZAU	Zielerreichungsgrad Auslastung	4.2.3.3
ZDA	Zielerreichungsgrad Durchlaufzeitabweichung	4.2.3.2
ZEZ	Zielerreichungsgrad eines Einzelziels	5.4
ZFG	Zielerreichungsgrad Arbeitsflußgrad	4.2.3.1
ZG	Zeitgrad	3.1.3
ZSZ	zusätzliche Zeit aufgrund Anwärmen und Verlernen	
ZZE	Zielerreichungsgrad Zeiterreichung	5.4