

1

Einführung

Die Globalisierung wirkt sich auch auf den Arbeitsmarkt in Europa aus. Wertschöpfende Arbeitsplätze werden nach Osten verlegt oder verschwinden. So verkaufte z. B. der niederländische Elektrokonzern Philips in den letzten Jahren einen Großteil seines traditionellen Geschäfts (wie Fernseher, Bügeleisen oder Kaffeemaschinen) nach China.

Die Digitalisierung hat im Handel eine massive Umwälzung eingeleitet. Eine Verschiebung von Arbeitsplätzen aus dem Handel hinein in die dienstleistende Logistik wird durch die Expansion von Amazon oder DHL dokumentiert. Selbstbedienungskassen machen das „Check-out-Personal“ bei Discountern überflüssig.

In der industriellen Produktion verändert sich die Arbeit ebenfalls. Die deutsche Automobilindustrie und ihre Zulieferer haben Schwierigkeiten mit den zukünftigen Märkten und der richtigen Antriebstechnik. Arbeitsplätze aus dem Motoren- und Getriebebau werden bei E-Mobilen weitgehend überflüssig. Die Erzeugung von Zahnrädern für Getriebe oder von Teilen für Kupplungen und Differentiale entfallen. Bei der Montage von Fahrzeugen verschwindet der Einbau der Komponenten des Verbrenners zugunsten von Elektroantrieb und Batterie.

Bald werden viele Arbeitsplätze aus Kostengründen für den Menschen nicht mehr erreichbar sein, andere werden durch prekäre Arbeitsverhältnisse zunehmend unangenehm oder grundlegend reformiert werden.

Dieses Buch wendet sich an künftige und praktizierende Produktionsplaner. Es vermittelt ausgewählte Grundlagen und Methoden der effizienten Gestaltung von Montagearbeitsplätzen. Es unterstützt dabei, menschliche Arbeit in der industriellen Montage zu planen und einen sinnvollen Einsatz menschlicher Arbeit auch in der Zukunft möglich zu machen. Arbeitgeber und Arbeitnehmer können in gleicher Weise von diesem Praxisleitfaden profitieren.

Zunächst gibt das Buch einen Überblick über die verschiedenen Formen der Montage und liefert Anwendungsempfehlungen für die jeweiligen Ausprägungen. Zur zielorientierten Planung führt es die Begriffe der Wertprozesse (WP) und des Wertprozessanteils (WPA) als monetäre Kennzahlen für die präzise Zielsetzung

der Auslegung von Arbeitsplätzen ein. Um diese Kennzahlen einfach messen zu können, wird das methodisch und tariflich anerkannte Verfahren Methods-Time Measurement (MTM) mit zwei Prozessbausteinen vorgestellt.

Nach der Einführung in die Grundlagen (Kapitel 2 bis 4) folgen die praxisorientierten Kapitel zur Planung von Montagesystemen (Kapitel 5 bis 7). Kapitel 6 widmet sich der Auslegung guter Montagearbeitsplätze. Neben der Optimierung des Wertprozessanteils zeigt das Buch auch, wie Montagearbeitsplätze aus Sicht der Mitarbeiterbefindlichkeit gestaltet sein sollten.

Kapitel 7 stellt den ganzheitlichen Zusammenhang zwischen Konstruktion und Produktion her. Es zeigt, welche Forderungen die Produktion an die Konstruktion stellen sollte, um wertoptimierte Produkte zu schaffen. Dies erfolgt auf Basis eines Auszugs aus dem umfangreichen Leitfaden der montagegerechten Produktgestaltung (PROKON).

2

Montage in der Produktion

Im industriellen Umfeld werden Produktionssysteme geplant und gebaut, um Produkte in einer definierten Zeit, zu festgelegten Kosten und in der vom Kunden erwarteten Qualität herzustellen. Die Aufgabe der Montage besteht darin, in einer bestimmten Zeit aus einzelnen Teilen ein Produkt höherer Komplexität mit vorgegebenen Funktionen zusammenzubauen (Lotter/Schilling 1994). Dieses Kapitel erläutert grundlegende Begriffe der Montage, deren Kenntnis erforderlich ist, um Montagesysteme zu verstehen und um diese zielgerichtet und erfolgreich planen zu können.

■ 2.1 Produktionssysteme

Das **Ziel eines Produktionssystems** ist es, eine bestimmte Menge an Produkten in einer vorgegebenen Zeit zu liefern. Dazu müssen Aufträge bearbeitet werden, in welchen festgelegt ist,

- was
- wie und
- wann

produziert werden soll.

Was wird produziert? Das Produkt in einer definierten Menge

Das **herzustellende Produkt** hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung eines Produktionssystems. Ein Automobil besteht beispielweise aus einer Vielzahl von Einzelteilen, die eingekauft, selbst hergestellt, transportiert, montiert und geprüft werden müssen. Je nach Größe und Masse der Teile entsteht dabei ein Produkt, das neben der technischen Funktion unter anderem durch

- die Art, Zahl und Größe der Teile,
- die Masse der Teile und des entstehenden Produkts,
- die anzuwendenden Prozesse, wie z. B. Schrauben, Schweißen, Lackieren, Montieren etc.,

beschrieben werden kann. Die Produktionstechnik, die Produktionsorganisation und das Produktionsumfeld sind von diesen Charakteristika direkt betroffen.

Die **Art und Zahl der Teile** betrifft nicht nur die Logistik, die dafür sorgen muss, dass

- die richtigen Teile in der richtigen Menge und der richtigen Qualität,
- zur richtigen Zeit,
- am richtigen Ort,
- zu richtigen Kosten und
- mit richtigen Informationen

bereitstehen (7R der Logistik, vgl. COTRIS 2021). Je mehr Teile in der Produktion bereitgestellt werden müssen, desto mehr Platz wird dafür benötigt. Wenn die Bauelemente einer elektronischen Baugruppe aufgrund einer elektrostatischen Empfindlichkeit besonders gelagert, gehandhabt und montiert werden müssen, ist die Produktion davon betroffen.

Steigt beispielsweise die **Größe des Produkts**, werden entsprechend dimensionierte Transportbehälter, Transportmittel, breitere Wege und größere Montageplätze benötigt. Die **Masse des Produkts** wiederum zwingt die Produktion bei Überschreiten von Grenzwerten zum Einsatz einer mechanischen Unterstützung der Werker.

Die geforderte Menge an zu fertigenden Produkten beeinflusst die **Leistung des Produktionssystems**. In einer definierten Produktionszeit soll eine vorgegebene Zahl von Produkten erstellt werden. Das Produktionssystem sowie dessen Technik und Organisation müssen auf diese Leistung abgestimmt sein (siehe Bild 2.1).

$$\text{Leistung eines Produktionssystems} = \frac{\text{geforderte Menge an Produkten}}{\text{definierte Produktionszeit}}$$

Bild 2.1 Leistungsdefinition eines Produktionssystems

Die geforderte Menge an Produkten kann auch durch die **zu erfüllende Taktzeit** ausgedrückt werden. Bei gleicher Produktionszeit kann man drei grundsätzliche Szenarien unterscheiden. Bild 2.2 führt folgende drei Bezeichnungen für unterschiedliche Produktmengen auf:

- **Massenprodukte** wie Leuchtkörper, Haushaltssicherungen, Kühlschränke
- **Serienprodukte** mit mittleren Stückzahlen wie Automobile
- kleine Stückzahlen im **Kleinserien- und Einzelproduktbereich**, wie beispielsweise Autobusse, Werkzeugmaschinen oder Produktionsanlagen

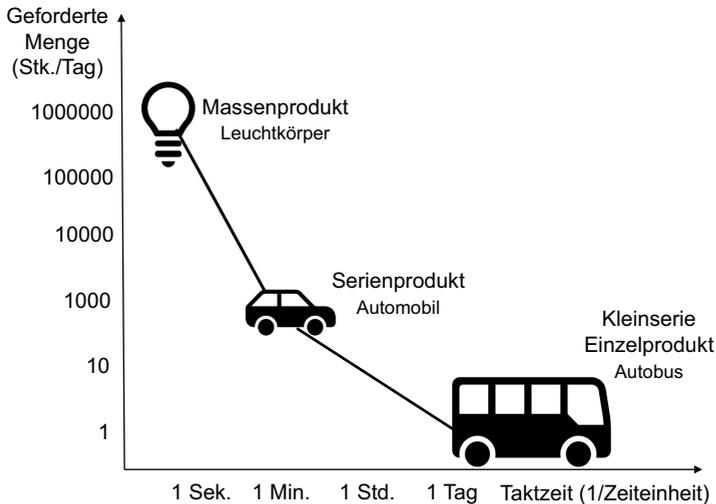


Bild 2.2 Mengenszenarien in der Produktion

Wie wird produziert? Der Auftrag

Ein Produktionssystem soll Produkte in einer gewünschten Menge herstellen. Dazu wird ein Auftrag erstellt, in dem beschrieben ist, was wann und wie anzufertigen ist. In diesem Zusammenhang ist der Begriff Losgröße (LG) zu erläutern. Bei einem Los handelt es sich um die Menge exakt gleicher Teile in einem Auftrag der Produktion. Unter einem Fertigungslos versteht man die Menge an Werkstücken, die geschlossen durch die Fertigung läuft. Ein Los ist eine Teilmenge eines Auftrags und darf nicht zerrissen werden (Tschätsch 1996).

Für die Planung eines Produktionssystems ist es wichtig zu wissen, ob dasselbe Produkt in einem Auftrag wie in Bild 2.3

- einmalig erstellt werden soll, bevor ein neues Produkt oder ein neuer Produktionsschritt begonnen wird (man spricht von Losgröße 1),
- z.B. fünfmal erstellt werden soll, bevor das Produktionssystem einen weiteren Auftrag bearbeitet (LG 5), oder
- ohne Änderung als immer gleiches Produkt hergestellt wird.

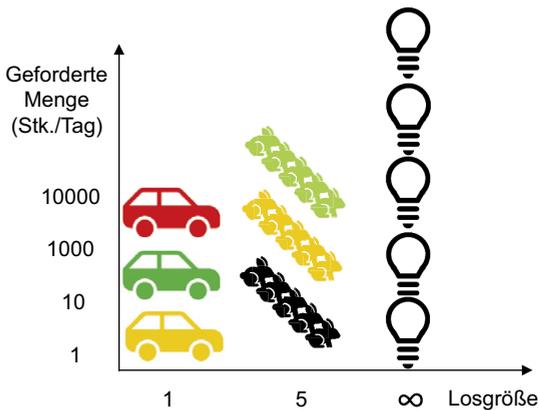


Bild 2.3 Losweise Produktion

Wann wird produziert? Vorgabezeit, Durchlaufzeit und Lieferzeit

Der Produktionsauftrag braucht für seine Bearbeitung Zeit. Zur Produktion eines Mittelklassefahrzeugs werden beispielweise rund 30 Stunden sogenannter Fertigungszeit veranschlagt. Diese Zeit ist geplant und vorgegeben, um die Fertigungs- und Montageprozesse an den Teilen und am Fahrzeug auszuführen. Sie wird auch **Vorgabezeit** genannt und als Kontrollgröße für die Einhaltung von Planungs- und Kostenvorgaben verwendet.

Um ein Fahrzeug in der gewünschten Ausstattung und der vom Kunden geforderten **Lieferzeit** zu produzieren, sind diese 30 Stunden so aufzuteilen, dass der Auftrag in einer Zeit von, beispielweise angenommenen vier Monaten, bearbeitet werden kann. In dieser Zeit wird die Bestellung vollzogen, die Teile werden beschafft und der Rohbau, die Lackierung sowie die Montage bis zur Auslieferung werden durchgeführt. Diese Zeit wird auch **Durchlaufzeit** genannt. Das Produktionssystem muss in der Lage sein, eine vorgegebene Durchlaufzeit einzuhalten, um den Liefertermin zu garantieren. Der Zeitpunkt der Lieferung bestimmt die Starttermine sämtlicher vorgelagerter Prozesse in der Produktion. Durch Rückwärtsterminierung legt die Produktionsplanung und -steuerung fest, wann z. B. ein Motor für ein bestelltes Fahrzeug gefertigt und an die Montage geliefert werden muss.

Prozesse in einem Produktionssystem

Ein Produktionssystem besteht zur Ausführung einer Arbeitsaufgabe, neben Gebäuden, Grundflächen etc., im Wesentlichen aus den drei Produktionsfaktoren (REFA Bundesverband e. V. 2002):

- Menschen
- Maschinen
- Material

Produktionssysteme werden durch (Schmidt 1992)

- das zu erstellende **Produkt** und dessen Menge (Stückzahlen),
 - die auszuführenden **Prozesse** (siehe Bild 2.4),
 - die **Anordnung dieser Prozesse** zu einer Struktur,
 - die **Menschen und Maschinen** im Produktionssystem,
 - die zu erbringende **Leistung**, definiert durch die Menge der Produkte (Messgröße Taktzeit) sowie
 - die **Durchlaufzeit oder Lieferzeit**, definiert als die Zeit zwischen dem Einlassen eines Kundenauftrags oder der Bestellung und der Lieferung,
- beschrieben.

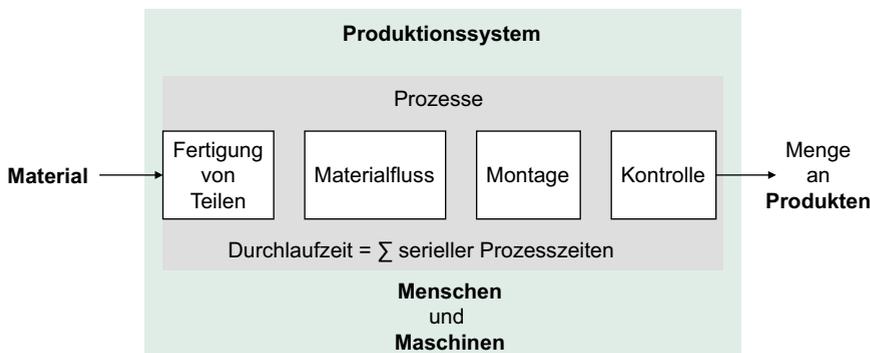


Bild 2.4 Schematische Funktionsdarstellung eines Produktionssystems

Dazu besteht das System funktionell aus den folgenden **Prozessbereichen**:

- der **Fertigung**, in der einzelne Teile in Form und Funktion hergestellt werden, ohne sie zu verbinden
- dem **Materialfluss**, laut VDI-Richtlinie 3300 der räumlichen, zeitlichen und organisatorischen Verkettung aller Vorgänge bei der Gewinnung, Bearbeitung und Verteilung von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche (Martin 2000)
- der **Montage**, einem Bereich, der die einzelnen Teile zu einem Produkt und in eine Gesamtfunktion reversibel oder irreversibel verbindet (Schmidt 1992)
- der **Kontrolle** als Überwachung oder Überprüfung eines Sachverhalts oder einer Person (Bibliografisches Institut GmbH 2021)

■ 2.2 Prozesse in der Montage

Die Montage kann nach DIN 8593 in unterschiedliche Prozesse eingeteilt werden (siehe Bild 2.5). Das eigentliche **Verbinden** der einzelnen Teile ist unter dem Begriff **Fügen** zu finden.

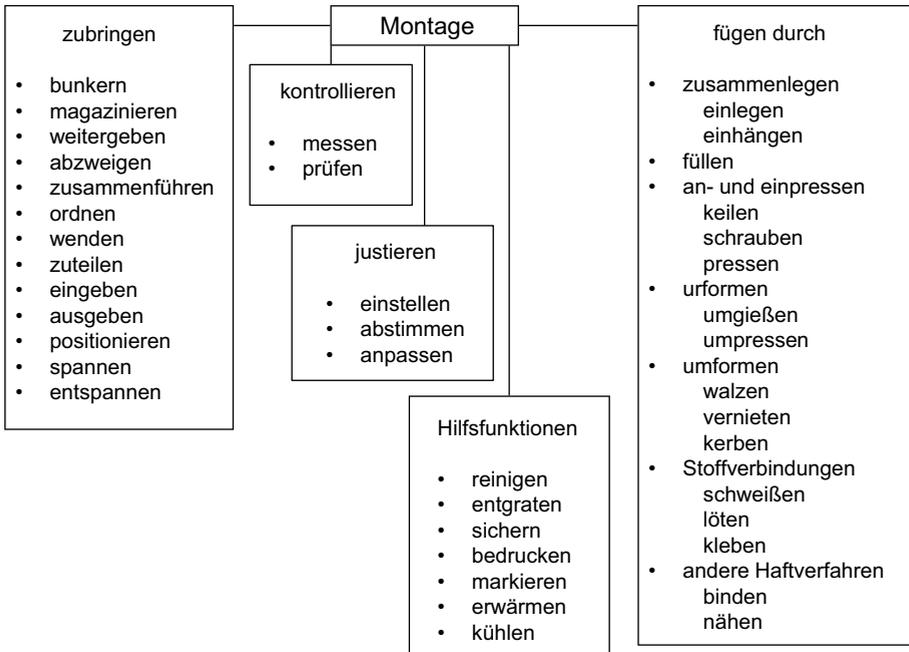


Bild 2.5 Montageprozesse (in Anlehnung an DIN 8593)

Die Prozesse der Montage können, als Auftrag betrachtet, auf unterschiedliche Arten vollzogen werden:

- in Mengenteilung oder Artteilung
- bewegt oder stationär
- manuell, mechanisiert oder automatisiert (Lotter/Schilling 1994, REFA Bundesverband e. V. 2002)

2.2.1 Mengen- oder Artteilung von Montageprozessen

Die Begriffe Mengen- oder Artteilung beziehen sich darauf, wie ein Auftrag in seiner Gesamtheit in der Produktion bearbeitet wird. Unter Auftrag ist die Menge an Produkten gemeint, die beispielweise von unterschiedlichen Kunden angefordert

werden. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Produktion von Nahrungsmitteln, etwa Pizza, angeführt. So unterscheidet man bei den Aufträgen prinzipiell, ob ein Kunde eine Pizza des Typs Quattro Stagioni bestellt und darauf wartet oder ob eine große Gruppe von Menschen zehn unterschiedliche Gerichte bestellen und eine gleichzeitige Lieferung fordern. Die Produktion muss darauf mit einer angepassten Organisation ausgerichtet sein und entsprechend reagieren können.

2.2.1.1 Mengenteilung

Unter Mengenteilung versteht die REFA-Methodenlehre¹ eine Aufteilung der Gesamtmenge von Produktionsprozessen auf mehrere Menschen oder Betriebsmittel, sodass jeder Mensch oder jede Maschine den gesamten Ablauf an einer Teilmenge ausführt (REFA Bundesverband e. V. 2002, REFA Bundesverband e. V. 1991b).

Als Beispiel soll hier der in Bild 2.6 dargestellte Montageprozess dienen. Drei verschiedene Maler (M1, M2, M3) bedienen eine Teilmenge der gesamten Kunden parallel. Im Beispiel werden gleichzeitig drei Kunden (A, B oder C) betreut. Der Maler M1 bearbeitet z. B. den Auftrag von Kunde A in all seinen Prozessschritten – von der Befragung des Kunden über die Durchführung des Bemalprozesses der Ostereier bis zum Entgegennehmen des Geldes.

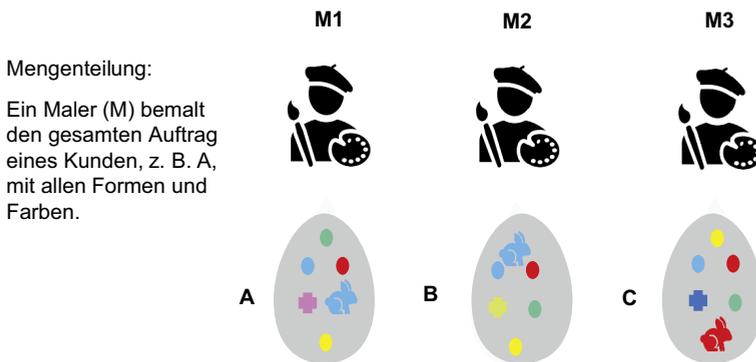


Bild 2.6 Mengenteilung am Beispiel des Bemalens von Ostereiern

Jeder Maler ist qualifiziert und in der Lage, alle Prozesse mit unterschiedlichen Farben und Formen auszuführen. Er kann unterschiedliche Muster wie Punkte, Kreuze und Hasen in verschiedenen Farben an veränderlichen Positionen auf den Eiern anbringen, das Geld kassieren und die Ware verpacken.

¹ REFA ist die weltweit älteste Organisation für Arbeitsstudien, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. Im Fokus der REFA-Aktivitäten steht, die Wirtschaftlichkeit von Unternehmen zu steigern und dabei die Arbeitsbedingungen für die Beschäftigten zu verbessern. Hierfür steht ein breites Methodenrepertoire zur Analyse, Gestaltung und Optimierung der Betriebsorganisation zur Verfügung (REFA Bundesverband e. V. 2021).

Das System der Mengenteilung in der Montage bietet aufgrund der parallelen Produktionsmöglichkeit eine hohe Redundanz und Flexibilität sowohl bei Kapazitäts- als auch bei Bedarfsschwankungen. Die Mitarbeiter müssen den gesamten, ihnen zugewiesenen Produktionsprozess beherrschen. Geht man von einer auswendig aus dem Kopf zu lösenden Produktionsaufgabe aus, so liegen die optimalen, vom Menschen zu lernenden Produktionszeiten bei ca. 1 – 3 Minuten. Hierbei setzt man die kürzere Zeit bei Aufgaben hoher Varianz ein, die längere bei steten, unveränderlichen Prozessen, um die Belastung des Menschen annähernd konstant zu halten.

Mengenteilung darf nur auf eng umrissene Arbeitsaufgaben angewendet werden oder benötigt gestaltete Arbeitsplätze, ausgearbeitete Arbeitspläne bzw. eine enge Anweisungsführung der Mitarbeiter. Der Einarbeitungsaufwand ist bei dieser Produktionsform relativ hoch.

Positiv anzuführen ist, dass der Mitarbeiter seine Arbeitsaufgabe und die Funktion des Produkts besser kennt. Der Arbeitsplatz kann dadurch auch interessanter und weniger belastend sein.

2.2.1.2 Artteilung

Bei der Artteilung gestaltet sich die Teilung der Arbeit auf mehrere Menschen bzw. Betriebsmittel derart, dass jeder Mensch/jede Maschine einen Teil des gesamten Arbeitsablaufs an der Gesamtmenge ausführt (REFA Bundesverband e. V. 1991a, REFA Bundesverband e. V. 1991b). Bei Artteilung werden den unterschiedlichen Arbeitspersonen oder Betriebsmitteln nur einzelne Abschnitte des gesamten Arbeitsablaufs zugeordnet (REFA Bundesverband e. V. 2002).

Dies kann auf zwei unterschiedliche Arten geschehen:

- in stückweiser Arbeitsteilung
- in verrichtungsweiser Arbeitsteilung

Stückweise Arbeitsteilung zerlegt die gesamte Arbeitsaufgabe in einzelne Teilprozesse und führt diese am entstehenden Produkt aus, bevor derselbe Prozess am Folgeprodukt begonnen wird (Lotter/Schilling 1994). Der Werker montiert als Teilschritt der Gesamtmontage eine bestimmte Schraube an ein Fahrrad und wiederholt dies beim nächsten Fahrrad.

Diese Produktionsform ist sowohl in der Montage als auch in der Fertigung umgesetzt. Klassischer Vertreter ist der Automobilbau, der diese Art zu montieren zu Beginn des 20. Jahrhunderts vom Zerlegprozess der Rinder in den Schlachthöfen von Chicago abgeleitet hatte. Diese Produktionsform ist auf **The Ford way of Production** im Jahre 1910 zurückzuführen und wird bis heute im Automobilbau angewendet.

Index

A

Arbeitsfläche 130
Arbeitshöhe 128
Arbeitsorganisation 101
Artteilung 10, 19
Automatische Produktionssysteme 26
Automatisierte Montage 26
Average Workload 87

B

Baustellenproduktion 14, 20
Betriebswirtschaftliche Analyse 74
Betriebswirtschaftliche
Anforderungen 67

D

Doppelspiel 108
Druckprinzip 95 f.
Durchlaufzeit 6, 19, 92 f.

E

EAWS 131
Einfachspiel 108
Einführschrägen 157
Einheitliche Bewegungsrichtung 162
Einzelteil 74
Ergonomic Assessment Work Sheet
(EAWS) 131
Ergonomiebewertung 134
Ermittlung von Zeitdaten 48

F

Fernbereich 118
Fließfertigung 14, 16, 19
Flussprinzip 14, 16, 20

G

Gestaltungsregeln für Arbeitsplätze
120, 125

I

Infragestellen von Teilen 142

K

Kapazitätsanforderung 67
Kleinserien- und Einzelproduktbereich
5
Konstruktive Gestaltung 160
Kundenwunschlieferzeit 93

L

Leistungsgrad 51
Lieferzeit 6, 93
Losgröße 5

M

Manuelle Montagesysteme 22
Massenprodukte 5, 74
Materialfluss 92

Mechanisierte oder teilautomatisierte Montage 23
 Mengenteilung 9, 19
 Menschengerechte Gestaltung von Arbeitsplätzen 127
 Methods-Time Measurement (MTM) 2, 47, 52
 Minimale Teile- und Prozesszahl 141
 Minimale Zahl von Bauteilen 141
 Minimierung der Verbindungszeit 156
 Mitarbeiterbefindlichkeit 127
 Mittlere Arbeitsbelastung 17
 Montage im Fluss 88, 91
 Montagevorranggraph 71, 139
 MTM 2, 47, 52
 MTM-I 53, 57
 MTM-Grundsystem 53

N

Nahbereich 119

O

Optimierung im Fernbereich 107
 Optimierung im Nahbereich 118

P

Platzmontage 88 ff.
 Platzprinzip 14
 Produktion im Fluss 88
 Produktionsgerechte Produktgestaltung 163
 Produktionsprogramm 67, 74
 Produktoptimierung 137, 164
 Produktstruktur 70
 PROKON 2, 152, 168
 Pull-Prinzip 95

R

Reduzieren von Bücken 110
 Reduzieren von Drehen 110
 Reduzieren von Gehen 111, 114

REFA-Methodenlehre 9

S

Schwierigkeitsgrad der Montage 152
 Serienprodukte 5
 Soll-Mengenleistung 81
 Soll-Taktzeit 81
 Soll-Zeiten 50
 Stetigförderer 90
 Stückweise Arbeitsteilung 10
 Stückweise Montage 13
 Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ) 47, 52

T

Taktverluste 85
 Taktzeit 4
 Technische Anforderungen 65
 Toyota-Produktionssystem 31
 Transport 107
 Transporthilfsmittel 90
 Transportmittel 90

U

UAS 58
 Universelles Analysiersystem (UAS) 58
 Unstetigförderer 90

V

Varianten 69, 86, 144, 146, 148
 Varianteneinflüsse 148
 Verbesserungsinvestition 39
 Verbesserungspotenzial 39
 Verbindungsprozesse 35, 72
 Verbrauchsgesteuerte Teileversorgung 95
 Verbrauchszeit 93
 Verrichtungsweise Arbeitsteilung 11
 Verrichtungsweise Montage 12
 Vorgabezeit 6, 50, 83

W

- Wertprozessanalyse 43
- Wertprozessanteil 1, 37f.
- Wertprozesse 1, 31, 34 ff., 38, 43, 47, 72,
102, 104, 151, 160
- Wertprozessmessung 40
- wertschöpfend 33
- Wertschöpfung 31

Z

- Zeitdaten 47
- Zugprinzip 95