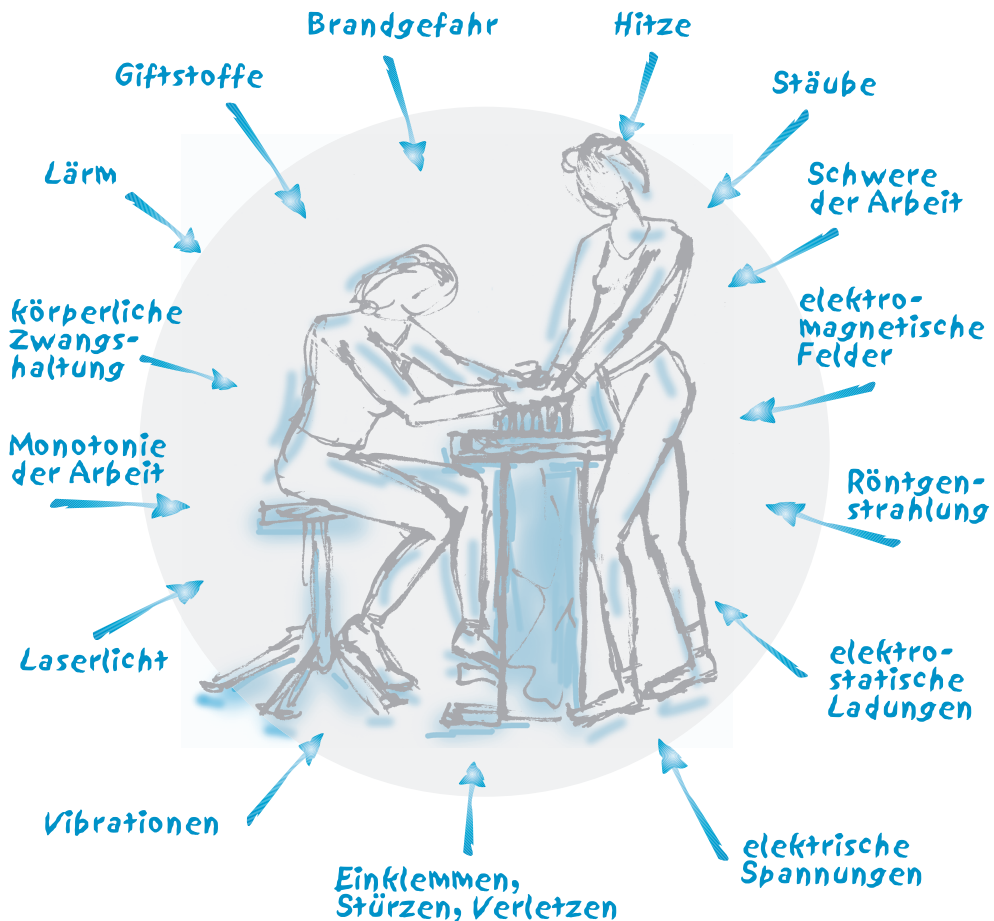


Zum Nachdenken:

Belastungen und Gefahren am Arbeitsplatz



Bürgerliches Gesetzbuch (BGB):

§ 618 [Schutzvorschriften]

Der Dienstberechtigte hat Räume, Vorrichtungen oder Gerätschaften, die er zur Verrichtung der Dienste zu beschaffen hat, so einzurichten und zu unterhalten und Dienstleistungen, die unter seiner Anordnung oder seiner Leitung vorzunehmen sind, so zu regeln, dass der Verpflichtete gegen Gefahr für Leben und Gesundheit soweit geschützt ist, als die Natur der Dienstleistung es gestattet.



Bibliothek des technischen Wissens

Dietmar Schmid
Hans Kaufmann

Thomas Koke
Manfred Maier

Peter Konold
Arndt Kirchner

Industrielle Montage

Serienmontage, Fügeverfahren, Materialflusstechnik,
Arbeitssystemgestaltung und Montageprojekte

1. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,
Düsselberger Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 50861

Die Autoren des Buches:

Dietmar, Schmid, Prof. Dr.-Ing., Essingen: *Einführung, Fügeverfahren, Einzelbeiträge*,

Thomas Koke, Dipl.-Ing., Hüttlingen: *Materialflusstechnik*,

Peter Konold, Prof. Dipl.-Ing., Geislingen: *Serienmontage*,

Hans Kaufmann, Dipl.-Ing. (FH), Aalen: *Schraubtechnik, RFID, Montageprojekte*,

Manfred Maier, Dipl.-Ing. (FH), Dipl.-Wirt.-Ing. (FH), Dornstadt: *Arbeitssystemgestaltung*,

Arndt Kirchner, Dipl.-Ing. (FH), Oberlenningen: *Montagetaktung und Montageplanung*

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Schmid, Essingen

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern
Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Dem Buch wurden die neuesten Ausgaben der Normen und Gesetze zu Grunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die Normblätter selbst und die amtlichen Gesetzestexte. Wie in Lehrbüchern üblich werden etwa bestehende Patente, Gebrauchsmuster oder Warenzeichen nicht erwähnt. Das Fehlen eines solchen Hinweises bedeutet daher nicht, dass die dargestellten Produkte frei davon sind. Herstellerangaben sind gewissenhaft recherchiert. Sie sind aber mit keiner Gewährleistung irgendwelcher Art verbunden und können sich durch weiteren Fortschritt auch verändert haben. Der Verlag und die Autoren übernehmen daher keine Verantwortung oder Haftung aus der Nutzung von Daten oder Darstellungen dieses Buches. Die Bilder sind von den Autoren entworfen oder entstammen aus deren Arbeitsumfeld. Soweit Bilder, insbesondere Fotos einem Copyright Dritter unterliegen sind diese mit dem ©-Symbol und dem Urhebername versehen.

1. Auflage 2018

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-5086-1

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2018 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfoto: Foto des Lektors

Druck: Konrad Triltsch Print und digitale Medien GmbH, 97199 Ochsenfurt

Vorwort

Die **industrielle Montage** ist der dominierende und abschließende Bereich in der Herstellung industrieller Endprodukte aller Art. Durch Montagen entstehen aus Einzelteilen und aus vormontierten Baugruppen die fertigen Erzeugnisse.

In der Automobilindustrie ist z. B. die Fertigungstiefe kontinuierlich gesunken. Die Wertschöpfungsquote liegt nun unter 20 Prozent. D. h. die eigentliche Automobilproduktion ist ganz überwiegend zu einer Montageaufgabe geworden. Ähnlich ist die Situation bei Werkzeugmaschinen und in fast allen anderen Industriezweigen des 21. Jahrhunderts. Man konzentriert sich auf die **Kernkompetenz**, nämlich auf die **Produktentwicklung** und die **Montage des Endprodukts**. Die erforderlichen Komponenten werden möglichst zugekauft. Dadurch bekommt das Endprodukt Anteil am hochspezialisierten Knowhow des Zulieferers.

Der Verkaufserfolg eines Produkts ist maßgeblich bedingt durch die Art und Struktur der Montage. Die Montage ist entscheidend für die Produktqualität, die Herstellkosten, die Lieferfähigkeit und letztlich für die Kundenzufriedenheit. Auf Produktinnovationen, Produktvarianten und Nachfrageschwankungen muss die Montage technologisch und organisatorisch flexibel reagieren können.

Für Serienprodukte wird stets eine Fließproduktion angestrebt. Das **Fließband** war einst hierfür ein Synonym und prägend für die industrielle Revolution im 20. Jahrhundert.

In der **Montage 4.0** sind die monotonen manuellen Tätigkeiten bei Serienprodukten weitgehend durch automatisierte Fügeverfahren und durch eine Roboterhandhabung ersetzt. Bei Einzelprojekten und in Teilgebieten sind Handmontagen unumgänglich. Aber auch diese erfahren durch passende Arbeitssystemgestaltung, in Verbindung mit technischen Hilfen, eine humane Ausrichtung und stellen sehr anspruchsvolle und wertvolle Arbeitsplätze dar.

Das vorliegende Buch vermittelt das Basiswissen der industriellen Montagetechnik im Hinblick auf

- die Serienmontage,
- die zugehörigen Fügeverfahren,
- die Materialflusstechnik und
- die Arbeitssystemgestaltung.

Ergänzend werden konkrete Montageprojekte aus den Bereichen des Maschinenbaus, der Automobilindustrie, der Elektroindustrie und der Textilbranche beispielhaft und vertiefend dargestellt.

Das Fachbuch wendet sich an Auszubildende und Studierende die sich generell mit der Herstellung von Endprodukten in Fabrikanlagen befassen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	7	2.7.3.2 Formen der Anlauforganisation	71
1.1 Die Bedeutung der Montagetechnik	7	2.7.4 Anlaufstörungsmanagement und Änderungsmanagement	72
1.2 Morphologie der Montagesysteme	8	2.7.5 Lieferantenmanagement	73
1.3 Montage 4.0	11	2.7.5.1 Aufgaben und Strukturierung	73
1.4 Montagefolge, Erzeugnisgliederung, Stücklisten	12	2.7.5.2 Der Prozess des Lieferantenmanagements	75
1.4.1 Stücklisten	12	2.7.6 Motorenmontage planen und takten	78
1.4.2 Erzeugnisgliederung (Beispiel)	14	2.7.6.1 Die Taktzeit	78
1.4.3 Erzeugnisstrukturierung	16	2.7.6.2 Planung einer Montagelinie	79
1.4.4 Teileverwendungsnachweis	17	2.7.6.3 Handarbeitsplätze, Standby-Arbeitsplätze und Nacharbeitsplätze	80
1.5 Handhabungs- und Montagefunktionen	18	2.7.6.4 Ermittlung der Montagezeit	82
1.6 Merkmale und Verhalten der Montageteile	21	2.7.6.5 Erste Taktung und Takttestung	86
1.6.1 Geometrische und physikalische Ausprägungen	21	2.7.6.6 Betriebsvereinbarung regelt die maximale Auslastung der Taktzeit	87
1.6.1.1 Makroform	21	2.7.6.7 Springerkonzept	87
1.6.1.2 Physikalische Eigenschaften	23	2.7.6.8 Serientaktung	88
1.6.2 Teileverhalten	24	2.8 Reifegradabsicherung im Automobilbau	89
1.6.2.1 Statisches Verhalten	24	2.8.1 Einführung	89
1.6.2.2 Dynamisches Verhalten	24	2.8.2 Die Risiken	90
1.6.2.3 Ballistisches Verhalten	25	2.8.3 Lastenheft und Pflichtenheft	91
1.7 Logistik 4.0	26	2.8.4 Die Reifegrade	92
2 Montage von Serienerzeugnissen	27	3 Fügetechniken in der Montage	93
2.1 Einführung	27	3.1 Übersicht	93
2.2 Serienfreundliches Produkt	29	3.2 Zusammensetzen, Anpressen und Einpressen	94
2.2.1 Automatisierungsfreundliche Produktgestaltung	29	3.2.1 Zusammensetzen	94
2.2.2 Serienfreundliche Konstruktion	32	3.2.2 Anpressen und Einpressen	95
2.2.3 Demontagefreundliche Konstruktion	37	3.2.2.1 Verstiften	95
2.3 Montageplanung	38	3.2.2.2 Pressverbindungen	96
2.3.1 Aufgabenstellung (Planungsstufe 1)	38	3.2.2.3 Verschrauben	97
2.3.2 Grobplanung (Planungsstufe 2)	40	3.3 Umformen, Urformen und Füllen	102
2.3.3 Feinplanung	49	3.3.1 Umformen	102
2.4 Grundformen der Arbeitsbewältigung	52	3.3.2 Urformen	105
2.4.1 Arbeitsteilung (Artteilung)	52	3.3.3 Füllen	106
2.4.2 Mengenteilung	53	3.4 Schweißen, Löten, Kleben	107
2.4.3 Baugruppenteilung und Variantenteilung	54	3.4.1 Schweißen	107
2.4.4 Verkettung als Teil der Arbeitserleichterung	55	3.4.1.1 Lichtbogenschweißen	108
2.5 Grundformen der Montagesysteme	57	3.4.1.2 Widerstandsschweißen	110
2.5.1 Manuelle Montagesysteme ohne automatisierten Werkstückumlauf	59	3.4.1.3 Gasschmelzschweißen	111
2.5.2 Manuelle und teilautomatisierte Montagesysteme mit automatischem Werkstückumlauf	60	3.4.1.4 Pressschweißen	111
2.5.3 Automatische Montagesysteme	61	3.4.1.5 Strahlschweißen	113
2.6 Mensch-Maschinenkooperation	63	3.4.1.6 Sonstige Schweißverfahren	114
2.7 Komplexe Serienprodukte, Beispiel: Automobil	65	3.4.1.7 Schweißen von Kunststoffen	115
2.7.1 Einführung und Allgemeines	65	3.4.2 Löten	116
2.7.2 Serienanlauf	66	3.4.2.1 Die Fügeverbindung	117
2.7.2.1 Anlaufstrategie	67	3.4.2.2 Weichlötprozesse	118
2.7.2.2 Anlaufprozessplanung	69	3.4.2.3 Hartlötprozesse	119
2.7.3 Organisationsformen	70	3.4.3 Kleben	120
2.7.3.1 Primärorganisationen	70	3.4.3.1 Einführung	120
		3.4.3.2 Der Klebprozess	121
		3.4.3.3 Gestaltung der Klebeverbindungen	121
		3.5 Textiles Fügen	122
		3.5.1 Fügen zur Herstellung der Rohware	122
		3.5.1.1 Textile Fasern	122
		3.5.1.2 Textile Rohware	123

3.5.2	Fügen zur Herstellung von Fertigprodukten	124
3.5.2.1	Nähen	124
3.5.2.2	Zusammensetzen	126
3.5.2.3	Anpressen und Verpressen	127
3.5.2.4	Schweißen und Schneiden	128
3.5.2.5	Kleben	129

4 Materialflusstechnik 130

4.1	Unternehmenslogistik	130
4.2	Fördertechnik	131
4.2.1	Stetigförderer	131
4.2.2	Unstetigförderer	132
4.2.3	Stückgutförderung	133
4.2.3.1	Auslegung von Stückgutförderern	133
4.2.3.2	Bandförderer	135
4.2.3.3	Rollenförderer	140
4.2.3.4	Rutschen	143
4.2.3.5	Vertikalförderer (Elevatoren)	144
4.2.3.6	Puffern und Speichern	145
4.2.3.7	Vereinzeln	146
4.2.3.8	Zusammenführelemente und Verteilelemente	147
4.2.3.9	Anlagenbeispiel zum Verpacken	151
4.2.3.10	Beispiel Kleinteilelager mit Kommissionierung	152
4.2.4	Fördertechnik für kleine Stückgüter	153
4.2.4.1	Kettenförderer	153
4.2.4.2	Förderung runder Kleinteile und Werkstückträger	157
4.3	Verkettungseinrichtungen	158
4.3.1	Wellenförmiger Rollkanal Kaskade)	159
4.3.2	Zusammenführen und Zuteilen	159
4.3.3	Übergabe und Verteilung	160
4.3.4	Synchronschieber	161
4.3.5	Dynamischer Kettenspeicher	161
4.3.6	Kaskadenspeicher	161
4.4	Fahrerlose Transportsysteme (FTS)	162
4.5	Betriebsdatenerfassung (BDE)	163
4.5.1	Funkterminals	163
4.5.2	Optische Identifikationssysteme	164
4.5.2.1	Lesegeräte	164
4.5.2.2	Codierungen	165
4.5.3	Mobile Datenspeicher	167
4.5.3	RFID	168

5 Arbeitssystemgestaltung 169

5.1	Grundlagen	169
5.1.1	Der Mensch ist das Maß	169
5.1.2	Menschengerechte Arbeitsgestaltung	171
5.1.3	Gestaltung von Arbeitssystemen	172

5.2	Ergonomie	173
5.2.1	Aufgabe, Ziel und Inhalt	173
5.2.2	Checkliste für manuelle Arbeitssysteme	173
5.2.3	Arbeitsbelastung und Arbeitsbeanspruchung	180
5.2.4	Belastungsanalyse	184
5.2.5	Belastungen durch Arbeitsorganisation (Schichtarbeit)	188
5.2.6	Beispiel einer Arbeitsplatzgestaltung	190

6 Montageprojekte 198

6.1	Aufbau und Montage einer Sondermaschine	198
6.1.1	Produktportfolio des Herstellers	198
6.1.2	Projektablauf	200
6.1.3	Anfragebearbeitung	202
6.1.4	Maschinenentwicklung	204
6.1.5	Beschaffung/Einkauf	208
6.1.6	Produktion und Montage	209
6.1.7	Probetrieb und Abnahme	211
6.1.8	Abbau und Versand	211
6.2	Motorenmontage	212
6.2.1	Logistik	212
6.2.2	Wareneingang	213
6.2.3	Montage des Basismotors	214
6.2.4	Montage der Komponenten	215
6.2.5	Abnahme fertiger Motoren	218
6.2.6	Rückverfolgbarkeit	219
6.3	Elektronisches Wattmeter	220
6.3.1	Das Produkt	220
6.3.2	Produktionsprozess	224
6.3.3	Auftragnehmer und das Pflichtenheft	227
6.3.4	Produktion der Grundplatte	228
6.3.5	Qualitätssicherung	232
6.4	Herstellung und Montage textiler Endprodukte	234
6.4.1	Modellabteilung und Schnittkonstruktion	234
6.4.2	Herstellung der Teile	235
6.4.3	Montagen	236
6.4.4	Betriebliche Organisation	238
6.5	Verkettung zur Montage runder Kleinteile	239
6.5.1	Lösung mit doppelter Förderstrecke	239
6.5.2	Lösung mit Hauptband	240

Sachwortverzeichnis 241

Fachwörterbuch Deutsch – Englisch	241
---	-----

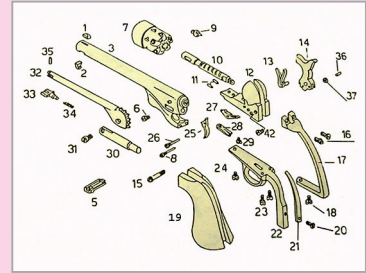
Bildquellenverzeichnis 247

1. Industrielle Revolution, ab 1800, Industrie 1.0

- Gründerzeit mit Mechanisierung,
- Fertigung in Fabriken,
- Nutzung der Wasserkraft und Dampfkraft,
- Herstellung serienidentischer Teile.

Montage 1.0

Erste Formen einer arbeitsteiligen Serienmontage realisierte *Eli Whitney* (1765 bis 1825) zur Herstellung von 10 000 Musketen (Vorderladergewehre). Ein produktionsbegleitendes Messen und Prüfen ermöglichte die serienidentische Teilefertigung.



© norlinhistory: Eli Whitney

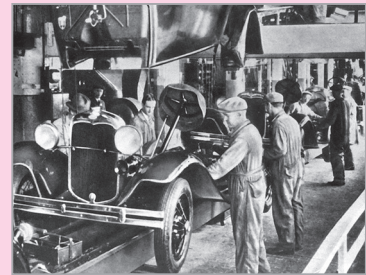
Serienmontage für 10 000 Musketen in Nordamerika, um 1800

2. Industrielle Revolution, ab 1900, Industrie 2.0

- Fließbandfertigung,
- Massenproduktion,
- Arbeitsteilung,
- Elektrische Antriebstechnik für Maschinen in der Produktion.

Montage 2.0

Die Montagetechnik wird durch das Fließband mit festen Taktintervallen geprägt. *Henry Ford* (1863 bis 1947) führte die Fließbandfertigung (moving assembly line) in der Karosseriefertigung 1913 ein und konnte damit die Arbeitseffizienz um das Achtfache steigern.



© bpk

Fließbandmontage bei Ford (USA), um 1929

3. Industrielle Revolution, ab 1970, Industrie 3.0

- Halbleiter,
- Integrierte Schaltkreise,
- Mikrocomputer,
- PC, SPS,
- Roboter,
- NC-Maschinen.

Montage 3.0

In der Karosseriemontage werden starre Schweißautomaten durch flexible Schweißroboter abgelöst. In ersten Versuchen bewegen sich z. B. Roboter, kombiniert mit Bildverarbeitungssystemen, synchron zum Fließband um Räder zu montieren.



Conveorsynchrone Rad-Montage mit Industrieroboter, um 1985

4. Industrielle Revolution, ab 2000, Industrie 4.0

- Smart factory, smart products, smart...,
- Cyber-Physikalische Systeme (CPS),
- Internet der Dinge,
- Mikroelektromechanische Systeme (MEMS),
- Simulation im Cyberspace.

Montage 4.0

Industrieroboter sind umfassend in allen Bereichen der Serienmontage integriert. Die Produktqualität wird mit Sensoren und Bildverarbeitung montagebegleitend sichergestellt. Die 3D-Simulation ermöglicht eine schnelle Anpassung an neue Montageaufgaben.



Montagesimulation im virtuellen 3D-Raum (Cyberspace), 2003

1 Einführung

1.1 Die Bedeutung der Montagetechnik

In der Fabrikation technischer Erzeugnisse steht zunächst das Produkt selbst, z. B. das Automobil oder das Smartphone im Fokus des Interesses. Wie der Herstellungsprozess abläuft: von der Konstruktion bis zum ausgelieferten Produkt ist die Thematik der Techniker und Ingenieure. Die Fertigerzeugnisse bestehen zumeist aus vielen Einzelteilen die im Montageprozess zusammengeführt werden müssen und erst so ein fertiges Ganzes bilden.

Festgelegt werden die Produktkosten (typisch 75 %) vor allem durch die Produktkonstruktion (**Bild 1**). So kommt den Konstrukteuren eine Hauptkostenverantwortung zu.

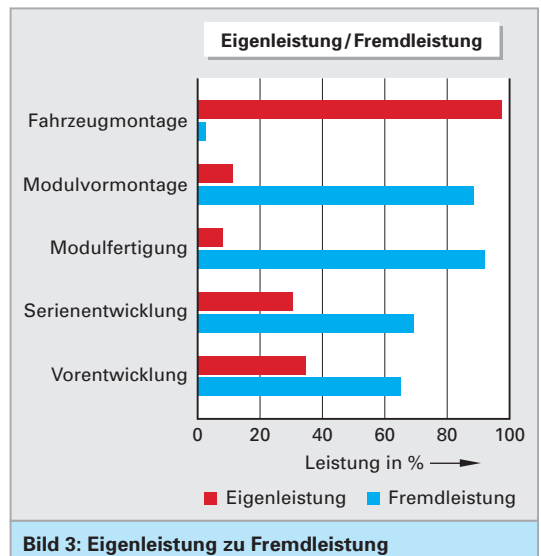
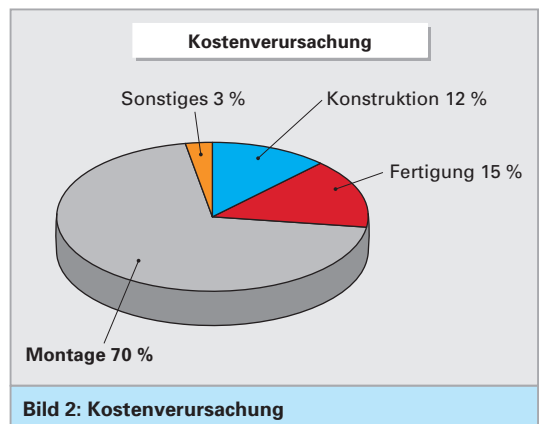
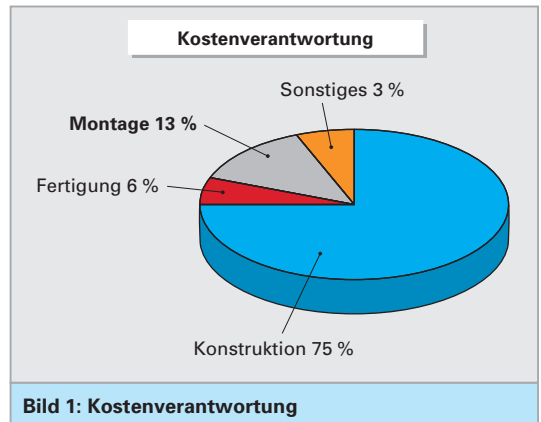
Verursacht werden die Produktkosten in der Produktion im Wesentlichen durch die Montage (typisch 70 %) (**Bild 2**).

Im zeitlichen Ablauf der Produktentstehung nehmen die **Montagetechnik** und der zugehörige interne Materialfluss den **Hauptteil der Zeit** in Anspruch. Die eigentlichen Fertigungsprozesse sind sowohl zeitlich als auch kostenmäßig häufig erst im zweiten Rang.

Zunehmend gilt für Massenprodukte eine abnehmende Fertigungstiefe, d. h. die Zulieferer erbringen mit vormontierten Baugruppen, z. B. von Fahrgestellen oder Sitzgruppen bei einem PKW wesentliche Produktionsanteile, während dem Fahrzeughersteller – neben der Gesamtverantwortung – vor allem die Zusammenführung der zugelieferten Komponenten im Rahmen der Montage zufällt (**Bild 3**).

Die Fertigungstiefe gibt an, wie viele einzelne Produktionsschritte bei der Produktion eines Produkts notwendig sind und wie viele davon innerhalb einer Unternehmung stattfinden bzw. von Zulieferbetrieben stammen. Sie liegt in der deutschen Automobilindustrie z. B. unter 50 %. Die 10 großen europäischen Automobilhersteller beziehen mehr oder weniger komplette Module von etwa 3000 Zulieferern.

Aber nicht nur in der Serienproduktion von Konsumprodukten, wie z. B. Fahrzeuge und Waschmaschinen (weiße Ware) sind die Montage und die innere Fertigungslogistik dominant. Das gilt gerade auch für den Sondermaschinenbau und den Werkzeugmaschinenbereich. Die Gestelle und fast alle Maschinenkomponenten, wie z. B. Antriebe, Spindeln, Führungen werden als Zukaufteile fremdbezogen.



1.2 Morphologie der Montagesysteme

Die Gestaltung der industriellen Montage orientiert sich an

- **Produktvolumen** (sehr groß, groß, mittel, klein)
- **Produktart** (Einzelprodukt, Standardprodukt, Serienprodukt)
- **Teilezahl je Produkt** (sehr groß, groß, gering, nur wenige)
- **Variantenzahl** (hoch, mittel, gering, **Tabelle 1**)

Großvolumige Standardprodukte

Großvolumige Produkte, z. B. große Werkzeugmaschinen werden in einer innerbetrieblichen **Baustellenmontage** komplett aufgebaut. Die Monteure sind hochqualifizierte Mechaniker, Mechaniker, Elektriker und montieren und programmieren entsprechend dem Montagefortschritt die Maschinenkomponenten an der jeweiligen Baustelle. Die Arbeitsteilung orientiert sich ausschließlich an den Fachkenntnissen der Monteure.


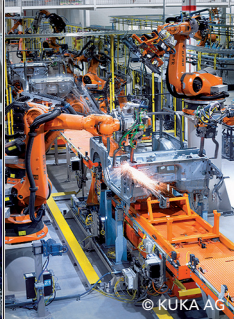
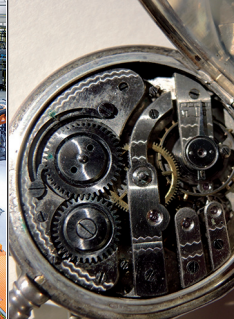

Großvolumige Anlagen, z. B. Kraftwerksturbinen (**Bild 1**) werden vor Ort montiert und erstmalig

dort in Betrieb genommen. Der Transport und das Zusammenfügen der Teile ist hier auf Grund von Größe, Gewicht und Sperrigkeit die besondere Herausforderung.



Bild 1: Baustellenmontage

Tabelle 1: Morphologischer Kasten

Produktvolumen	sehr groß	groß	klein	sehr klein
Produktart	Einzelprodukt	Standardprodukt		Serienprodukt
Teilezahl je Produkt	sehr groß	groß	mittel	nur wenige
Variantenzahl	hoch	mittel		gering
Beispiele	Montage einer Gasturbine 	Karosserie Montagelinie 	Historische Taschenuhr 	Elektronische Module 

Großvolumige Serienprodukte

Großvolumige Serienprodukte sind z. B. Fahrzeuge (**Bild 1**). Sie werden in einer Fließfertigung am **Fließband** z. B. mit Schrauber und bei sperrigen Teilen z. B. mit Hebehilfen produziert. Die einzelnen Montageschritte und Montagezeiten sind genau festgelegt. Die Monteure arbeiten weitgehend **arbeitsteilig** und wandern häufig im Produktionsfluss für eine Etappe mit. Vielfach ist eine Gruppenarbeit organisiert, so dass die Gruppe für gewisse Montagebereiche verantwortlich ist und die Teilarbeiten **selbstorganisiert** verteilt. Damit werden die Tätigkeiten nicht monoton sondern bleiben selbstgesteuert und abwechslungsreich. Es herrscht also trotz Fließbandmontage keine Fließbandmentalität.



Bild 1: Sitzmontage mit Hebehilfe

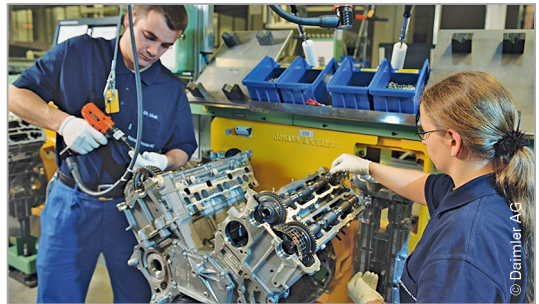


Bild 3: Motorendmontage

Mittelgroße Serienprodukte

Mittelgroße Serienprodukte sind z. B. Motoren (**Bild 2**). Sie werden in einer Fließfertigung am **Fließband** mit Roboterunterstützung vormontiert (Bild 2). Die Monteure arbeiten weitgehend arbeitsteilig. Die Fertigmontage mit den vielen Einzelteilen erfolgt am Band, z. B. nach dem Prinzip „two worker – one engine“ (**Bild 3**).

Kleines Produktvolumen und große Stückzahl

Relativ kleine Produktvolumen und viele Einzelteile sind typisch für die **Serienmontage**, z. B. für Haushaltsgeräte aller Art. Die Montage ist meist in höchstem Maße arbeitsteilig organisiert und findet automatisiert, teilautomatisiert und manuell statt. Typisch sind **verkettete tischgebundene Umlaufsysteme** (**Bild 4**).



Bild 4: Serienmontage mit verkettetem Tischsystem

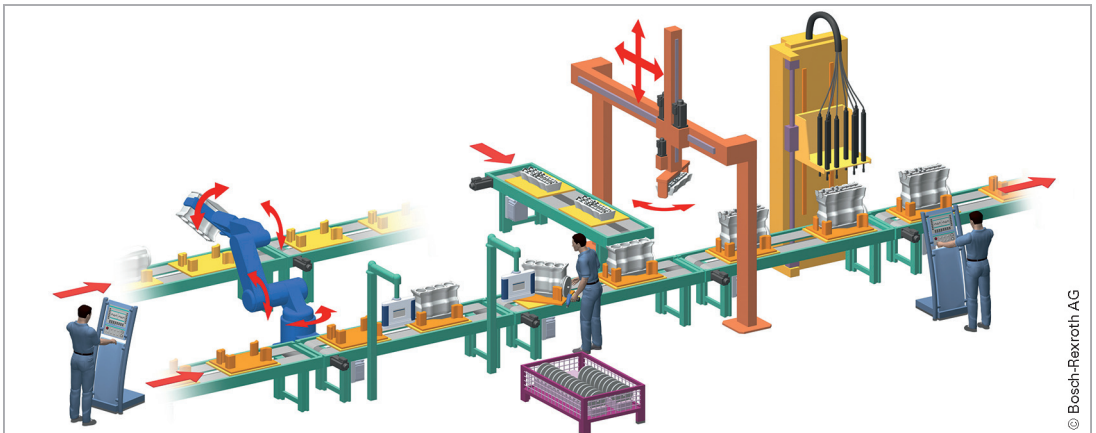


Bild 2: Motorvormontage mit Roboterunterstützung

Montieren im Überblick

Die Montage¹ von Bauteilen zu Baugruppen und von Baugruppen zu fertigen Geräten, Maschinen und Anlagen erfolgt maschinell z. B. mit Rundtaktautomaten, mit Robotern aber auch vielfach in Handarbeit. Die Serienmontage, d. h. die Montage von **Serienteilen** erfordert „flinke Hände“ und ist wegen der Monotonie und der Taktbindung der Tätigkeit und den ständig gleichartigen Arbeitsbelastung eine meist **sehr belastende Arbeit**. In früheren Zeiten (**Bild 1**) hat man dabei wenig Rücksicht genommen und die Fließbandarbeiterinnen (es waren meist Frauen) hatten nach kurzer Zeit erhebliche Rückenbeschwerden und Beschwerden in der Motorik.

Sofern eine nicht automatisierbare Montagearbeit übrig bleibt, ist darauf zu achten, dass die Montage-Restarbeitsplätze nicht in den Maschinentakt der Montagelinie ohne eine hinreichende **Teilepufferung** eingeplant werden.

Die Tätigkeiten der Montage sind: Fügen, Justieren und Prüfen, Handhaben, Fördern und Sondertätigkeiten. Dabei legt man besonderen Wert auf die erforderliche Motorik, wie z. B. Beidhandbewegungen, Beugen, Bücken, Aufrichten, aber auch auf die Augenbewegungen und auf die erforderlichen Kräfte. Auf Grund dieser Teiltätigkeiten kann man den Montageplatz ergonomisch günstig gestalten.

Zusammengefasst, systematisiert und standardisiert werden die Teiltätigkeiten (Vorgangselemente) in den *Systemen vorbestimmter Zeiten*.

Die Hauptfunktionen zur Zeitanalyse in der der Montage sind:

- Hinlangen,
- Greifen,
- Bringen,
- Fügen,
- Loslassen (**Bild 2**).

Zum Vorbestimmen von Montagezeiten gibt es eingeführte Verfahren, wie z. B. das MTM-Verfahren (Method-Time-Measurement), das MTA-Verfahren (Motion Time Analysis) oder das WF-Verfahren (Work-Factor). In Deutschland kommt vor allem die REFA-Methodenlehre² zur Anwendung. Beim MTM-Verfahren wird die Zeit in der Einheit TMU (Time Measurement Unit) gemessen: $1 \text{ TMU} = 0,036 \text{ s}$ r $100\,000 \text{ TMU} = 1 \text{ h}$.

Die aufmerksame Beobachtung aller Abläufe ermöglicht eine ergonomische Verbesserung und auch eine Effizienzsteigerung der Montagetätigkeit. Dies geschieht z. B. auch durch Motographie

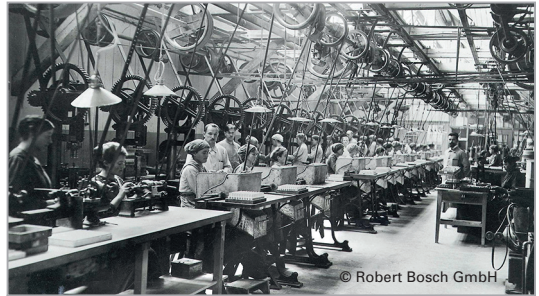


Bild 1: Zündkerzenmontage um 1920

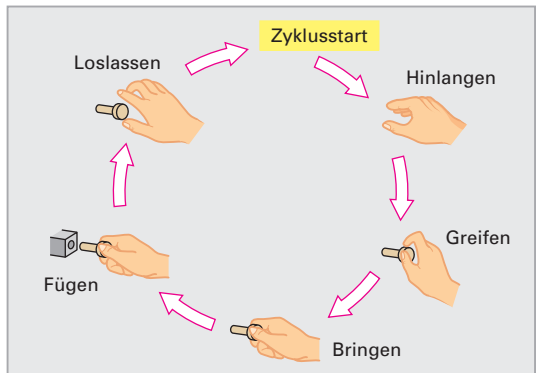


Bild 2: Hauptfunktionen zur Zeitanalyse



Bild 3: Bewegungsaufzeichnung (Motographie)

in dem man die Testpersonen mit Lichtreflektierenden Markierungen an Händen und Kopf ausstattet und so ein räumliches Bewegungsmuster aufnimmt (**Bild 3**).

Die MTM-Vorgabezeitbestimmung zu entgeltwirksamen Leistungsvorgaben bedarf der Zustimmung der Tarifparteien.

¹ franz. le montage = der Aufbau, das Zusammensetzen

² Der gemeinnützige REFA-Verband entwickelt, abgestimmt mit Arbeitgeber und Arbeitnehmerorganisationen, Verfahren zur Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung: REFA-Methodenlehre. Diese umfasst Datenerfassungsmethoden mit Zeitstudien, Multimomentaufnahmen, Selbstaufzeichnungen.

1.3 Montage 4.0

Die Montage 4.0 verfolgt eine flexible sowie wirtschaftliche und ressourcenschonende Herstellung von Erzeugnissen und zwar unter Nutzung intelligenter Systeme, nämlich *smarter* Produktionssysteme, *smarter* Produktkomponenten in Verbindung mit einer intelligenten Logistik.

Serienprodukte, seien es Fahrzeuge oder Elektrogeräte, Kleidung oder Sportartikel, sie alle werden in vollautomatisierten und/oder in teilautomatisierten Montageschritten aus Einzelteilen zusammengefügt.

Bei den manuellen Montageschritten ist die besondere Herausforderung, dass diese unter Einhaltung der europäischen Arbeitsstandards international wettbewerbsfähig gestaltet werden.

Die intelligenten Montagesysteme müssen wandlungsfähig sein und sich neuen und wechselnden Produkten möglichst selbst anpassen. Sie sind **ressourceneffizient** und stehen ergonomisch im Kontext mit **humaner Arbeit**.

Wichtige Montagekomponenten sind kollaborierende Roboter (**Bild 1** und **Bild 2**). Sie kooperieren bei der Arbeit mit dem Menschen. Handgeführte Industrieroboter (**Bild 3**) und *Exoskelette* (**Bild 4**) erleichtern das Montieren schwerer Bauteile oder unterstützen Monteure in ungünstigen Arbeitspositionen. Die Exoskelette geben eine Federunterstützung z. B. bei Überkopfarbeiten.

Kollaborierende Roboter (Cobot) arbeiten im Regelfall ohne mechanische Schutzgitter gemeinsam mit den Werkern „Hand in Hand“ (Bild 1). Sie verfügen über mehrere redundant wirkende Sensor-Sicherheitssysteme, z. B. in jeder Achse eine Drehmoment-Sensorik. Schon bei geringster Krafteinwirkung wird die Bewegungsgeschwindigkeit reduziert, so dass keine Verletzungen entstehen. Andererseits gibt es am Roboter Servo-Berührbereiche mit deren Hilfe der Roboter vom Menschen leicht bewegt (und ggf. dabei auch programmiert) werden kann. Zur Kommunikation mit dem Roboter verwendet man neben der direkter Roboterarmberührung auch Tastenfelder, Touchpad mit Hand-Gestik, Spracheingaben und die Eingaben durch Körper-Gestik (z. B. mit *Kinect*, Microsoft).

Zweiarmige Roboter kommen dem Menschen und seinen haptischen Fähigkeiten sehr nahe (Bild 2). Ihr Einsatz ist vor allem in der Serienmontage für kleine Teile und im Zusammenspiel mit dem Menschen geeignet. Die Zweiarmigkeit ermöglicht eine schnelle „Inhandmontage“ (wie das der Mensch auch macht): Die eine Hand hält, die andere Hand fügt.

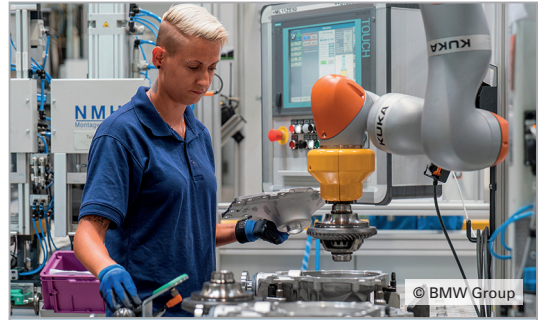


Bild 1: Kollaborierender Leichtroboter in der Montage

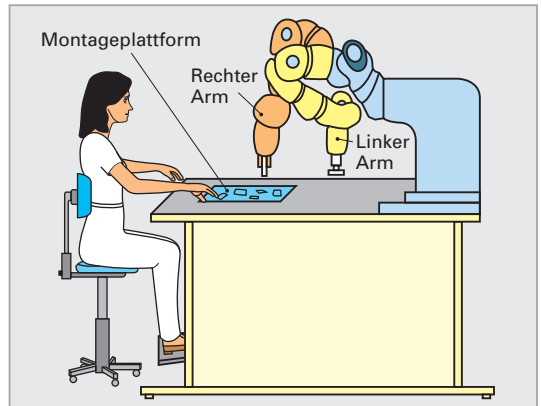


Bild 2: Kollaborierender Zweiarmroboter



Bild 3: Handgeführter Industrieroboter



Bild 4: Montieren mit Exoskelett

Bei den Stücklisten unterscheidet man meist zwischen der Mengenübersichtsstückliste, der Strukturstückliste und der Baukastenstückliste.

Mengenübersichtsstückliste. Sie ist unstrukturiert und liefert eine Auflistung der Einzelteile. Man findet sie als **Konstruktionsstückliste** auf den Zeichnungen. Für jede Teilenummer wird die Gesamtmenge darin aufgelistet (Bild 1, vorhergehende Seite).

Strukturstückliste. Die Strukturstückliste enthält alle Bauteile, **gegliedert nach Baugruppen** in der Abfolge der Fertigungsstufen bzw. Montagestufen (**Bild 1**).

Damit kann man zur Teilebereitstellung für einen Fertigungsauftrag, z. B. zur Montage eines Robotergreifers alle Teile herrichten und farblich kennzeichnen (grün: Teile sind vorhanden, rot: Teile fehlen). Die Strukturstückliste ist geeignet Fertigungsvorgänge auszulösen und zu kontrollieren.

Baukastenstückliste. Die Baukastenstückliste (**Bild 2**) listet nur die Bauteile und die Baugruppen der nächst tieferen Fertigungs- bzw. Montagestufe auf.

Die gelisteten Baugruppen haben wieder ihre eigenen Baukastenstücklisten soweit diese wiederum aus Einzelbaugruppen bestehen. Die Baukastenstückliste ist somit orientiert am **Erzeugnisbaum** des Produkts (**Bild 3**) und hierarchisch gegliedert. Sie ist die meist übliche Stückliste. Setzt sich ein Produkt aus bekannten Einzelbaugruppen zusammen, so sind deren Baukastenstücklisten nur aneinander zu reihen. Aus der Baukastenstückliste kann über die EDV sowohl eine **Mengenstückliste** als auch eine Strukturstückliste abgeleitet werden. Die daraus abgeleitete Mengenstückliste ermöglicht dem Einkauf oder dem Lager Bestellungen auszulösen und die Lieferungen zu kontrollieren (**Bild 4**).

Häufig werden auch noch eine Gleichteileliste und eine Variantenstückliste erstellt.

Gleichteileliste. Hier werden all diejenigen Gegenstände aufgelistet, die mit gleicher Sachnummer und gleicher Menge in mehreren Varianten einer Konstruktion vorkommen.

Variantenstückliste. Sie fasst mehrere Stücklisten auf einem Vordruck zusammen. So können Konstruktionsvarianten, die ja meist einen hohen Anteil identischer Teile haben bezüglich ihrer Gemeinsamkeiten übersichtlich dargestellt werden.

Baugruppe

☐ fehlt

☐ eingetroffen

☐ am Lager

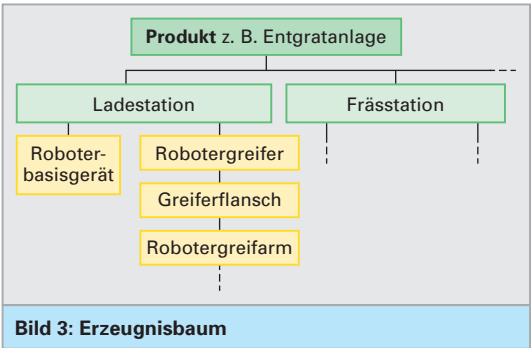
Pos	Art-No.	Qty	Unit	Description
1	B07.687.000S	0	pcs	Fixture
2	B35.605.000S	1	pcs	locking bolt
3	M07.687.0001	1	pcs	angle
4	M07.687.0002	1	pcs	stopper
5	M07.687.0003	2	pcs	stopper
6	M07.687.0004	2	pcs	contour part
7	M07.687.0005	1	pcs	frame
8	M07.687.0006	2	pcs	bolt
9	M07.687.0007	2	pcs	stopper
10	M07.687.0008	1	pcs	ridge
11	M07.687.0009	1	pcs	actuator
12	M07.687.0010	1	pcs	angle

Bild 1: Strukturstückliste für Fixierbaugruppe (Auszug)

Baugruppen

Pos	Art-Nr. alte Art-Nr.	Me	Einh.	Beschreibung Bemerkung	Z-Datum Index	Her- steller
1	B01.692.000S	1	Stk	Montagerack 40 l Behälter/10 l container	28.04.2003	
2	B01.720.000S	1	Stk	Kamera- Gestell	02.08.2010	
3	B01.1046.000S	1	Stk	Unterbau Roboterschrank	09.12.2010	
4	B28.729.000S	1	Stk	Frässtation V6 Anwendung: schneidet MIT 200 HSK 100, Axis 1400 mm lift	26.04.2010	
5	B28.731.000S	2	Stk	Frässtation	21.06.2010	
6	B29.681.000S	1	Stk	Fräswerkzeug HSK-A100	24.06.2010	

Bild 2: Baukastenstückliste (Auszug)



Ausstehende Bestellpositionen

Datum:
Seite:

Artikel:	Artikelbezeichnung	Termin	bestätigt	Bestmenge
K60.M13.0052	Kupplung	20.08.2010	X	1,00
Bestellung: EBE60267		Lieferant: B61	Boie GmbH	
K71.F06.0004	Axial-Schräggugellager	20.08.2010	X	1,00
Bestellung: EBE60276		Lieferant: B19	Alfred Beirle	
M28.729.0109	Halter	13.08.2010		1,00
M28.729.0112	Halter	13.08.2010		1,00
Bestellung: EBE60277		Lieferant: J06	Jäger GmbH Blechbearbeitung	

Bild 4: Lieferkontrolle

Tabelle 1: Mengenstückliste

Schuko-Stecker 2000 0000 01

Lfd. Nr.:	Identnummer	Menge	Benennung	(Kennung)
1	4000 0001 01	2	Kontakt	T1
2	7000 1002 01	2	Schraube M3 × 5 DIN EN ISO 1580	T2
3	4000 0002 01	1	S-Kontakt (Schutzkontakt)	T3
4	7000 1003 01	1	Schraube M3,5 × 5 DIN EN ISO 1580	T4
5	2000 0001 01	1	Innenteil PA 6 (Polyamid)	T5
6	7000 1001 01	3	Schraube ST3 × 10 DIN EN ISO 1548	T6
7	3000 0001 01	1	Bügel PA 12	T7
8	2000 0002 01	1	Gehäuse PA 6	T8

Tabelle 2: Strukturstückliste

Schuko-Stecker 2000 0000 01

Baustufe	Identnummer	Menge	Benennung
1	2001 0003 01	1	Vormontierter Stecker (B5)
1	7000 1001 01	1	Schraube (T6)
2	2001 0002 01	1	Vormontiertes Innenteil (B4)
2	2000 0003 01	1	Gehäuse (T8)
3	7000 1001 01	2	Schraube (T6)
3	3000 0001 01	1	Bügel (T7)
3	2001 0001 01	1	Teilmontiertes Innenteil (B3)
4	4001 0001 01	2	Vormontierter Kontakt (B1)
4	4001 0002 01	1	Vormontierter S-Kontakt
5	4000 0001 01	2	Kontakt (T1)
5	7000 1002 01	2	Schraube (T2)
5	4000 0002 01	1	S-Kontakt (T3)
5	7000 1003 01	1	Schraube (T4)

Tabelle 3: Baukastenstückliste

Schuko-Stecker 2000 0000 01

Position	Identnummer	Benennung	Menge
2001 0003 01 Vormontierter S-Stecker (B5)			
1	2002 0001 01	Vormontiertes Innenteil (B4)	1
2	2000 0002 01	Gehäuse (T8)	1
2001 0002 01 Vormontiertes Innenteil (B4)			
1	2001 0001 01	Teilmontiertes Innenteil (B3)	1
2	7000 1001 01	Schraube (T6)	2
3	3000 0001 01	Bügel (T7)	1
2001 0001 01 Teilmontiertes Innenteil (B3)			
1	4001 0001 01	Vormontierter Kontakt (B1)	2
2	4001 0002 01	Vormontierter S-Kontakt (B2)	1
3	2000 0001 01	Innenteil (T5)	1
4001 0001 01 Vormontierter Kontakt (B1)			
1	4000 0001 01	Kontakt (T1)	1
2	7000 1002 01	Schraube (T2)	1
4001 0002 01 Vormontierter S-Kontakt (B2)			
1	4000 0002 01	S-Kontakt (T3)	1
2	7000 1003 01	Schraube (T4)	1



1.4.3 Erzeugnisstrukturierung

Produkte werden bereits bei der Konstruktion in Baugruppen gegliedert, z. B. damit mehrere Konstrukteure ein Produkt simultan konstruieren können. Bei der Erzeugnisgliederung ist darauf zu achten, dass Produktteile in *einbaufertige Baugruppen* aufgelöst werden. Diese Baugruppen können dann komplett in Eigenfertigung oder auch in Fremdfertigung hergestellt werden. Fertige Konstruktionen werden zu ihrer Herstellung und vor allem zur Montage wiederum nach Baugruppen, Bauteilen und Stoffen, gegliedert, jetzt aber nach ihrem konsekutiven (aufeinanderfolgenden) Aufbau oder Abbau, also nach der Reihenfolge wie sich die Einzelteile „tragen“, z. B. das Unterste zuerst und dann das Nächstfolgende. Das ist dann auch oft die Reihenfolge in der Montage. Man spricht von der **Erzeugnisgliederung**¹.

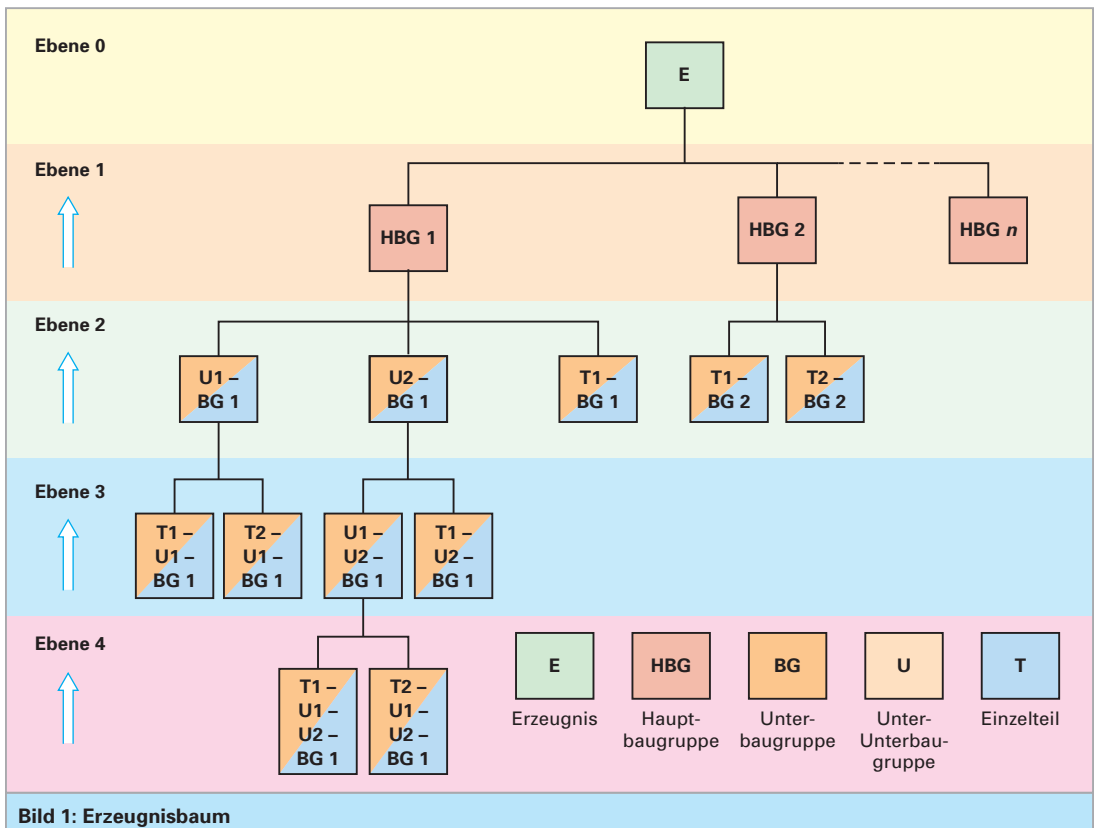
Eine Produktgliederung in Baugruppen mit exakten Schnittstellen zu den anderen Baugruppen ermöglicht neben der Verteilung der Konstruktionsaufgaben auf mehrere Konstrukteure oder Konstruktionsbüros auch die Verteilung auf meh-

rere Fertigungslinien/Fertigungsinseln und Montagelinien/Montageinseln/Montagegruppen. Die Produktgliederung erleichtert die Aufteilung der Fremdvergaben bis hin zur Fremdfinanzierung und die Abspaltung von Gewährleistungen. Eine Baugruppengliederung erbringt Vorteile im Einkauf, in der Lagerhaltung und in der Kalkulation falls Einzelbaugruppen in mehreren Produkten sich wiederholen.

Eine gewisse Strukturierung ergibt sich bereits beim Anlegen der Stücklisten.

Eine Erzeugnisstrukturierung (**Bild 1**) orientiert sich an den Montageebenen und zwar in der Reihenfolge der Demontage: Das End-Erzeugnis ist in der obersten Ebene, der *Ebene 0*. Darunter befindet sich die *Ebene 1* mit den Hauptbaugruppen, darunter liegt die Ebene der Unterbaugruppen, ergänzt, gegebenenfalls mit Einzelteilen und so fort. Die unterste Ebene in einem Ast des Erzeugnisbaums enthält nur noch Einzelteile.

¹ DIN 6789-1990-09: Dokumentationssystematik; Aufbau Technischer Produktdokumentationen (Die Norm ist zurückgezogen)



1.4.4 Teileverwendungsnachweis

Der Teileverwendungsnachweis stellt fest in welchen Baugruppen oder in welchen Produkten insgesamt ein bestimmtes Teil vorkommt, z. B. eine Zylinderschraube mit Gewinde M12 nach DIN 912.

So kann der Einkauf über den Teileverwendungsnachweis leicht feststellen, welche Menge von diesem Teil je Produkt benötigt wird, d. h. auch wie viele Stücke z. B. pro Monat benötigt werden. Dementsprechend können Rabatte mit Lieferanten vereinbart werden. Der Lagerist bzw. das PPS-System¹ kann an Hand des Teileverwendungsnachweises den Abgang eines Teiles vorherbestimmen und für den nötigen Zugang sorgen (**Bild 1**).

Bei Teilen die gefertigt werden erkennt der Fertigungsleiter bzw. das PPS-System an Hand des Teileverwendungsnachweises wie viele Teilprodukte zu fertigen sind und kann daraus die Losgrößen ableiten.

Aus dem Teileverwendungsnachweis lässt sich ableiten wie sich ein Produkt verteuert oder verbilligt, wenn sich der Preis eines bestimmten Teiles ändert.

Aus dem Teileverwendungsnachweis kann man ableiten welche Produkte oder Baugruppen betroffen sind, wenn für das Teil der Lieferant oder die Produktionsanlage ausfällt.

Aus dem Teileverwendungsnachweis lässt sich eine **Rückrufaktion** ableiten, falls das Teil ausgetauscht werden muss.

Aus dem Teileverwendungsnachweis kann man die Produkte ermitteln, die bei einer **Teileänderung** betroffen sind.

Während Stücklisten die Produkte in einer analytischen Weise aufgliedern unterstützen die Teileverwendungsnachweise eine synthetische, also zusammenfassende Betrachtungsweise (**Bild 2**).

Ähnlich den Stücklisten gibt es beim Teileverwendungsnachweis (**Bild 3**) eine Gliederung nach

- der Menge:
Mengenübersichts-Teileverwendungsnachweis,
- der im Produkt verbauten Struktur:
Struktur-Teileverwendungsnachweis,
- dem im Produkt verwendeten Baukasten:
Baukasten-Teileverwendungsnachweis.

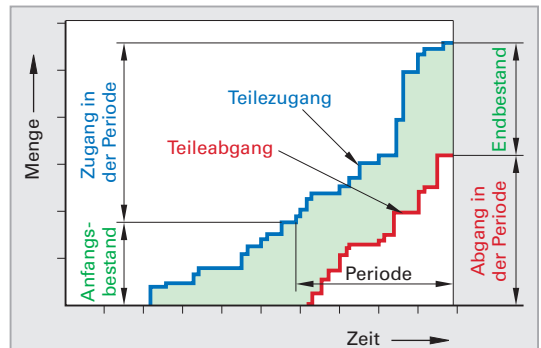


Bild 1: Zu- und Abgang eines Bauteils (Beispiel)

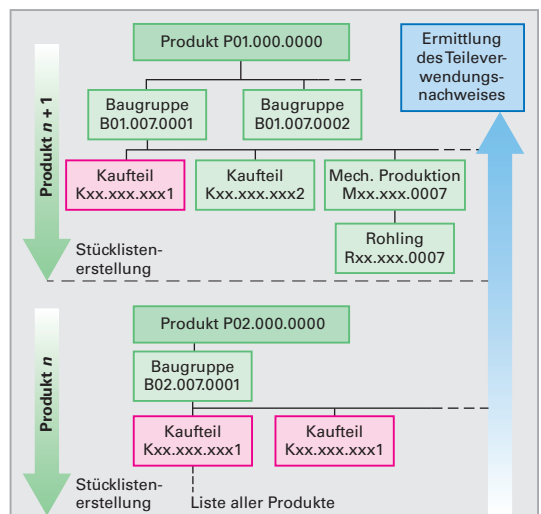


Bild 2: Struktur zur Ermittlung des Teileverwendungsnachweises

Mengenübersichts-Teileverwendungsnachweis	
Teilenummer: Kxx.xxx.xxx1	
Produkt-Nr.	Mengenfaktor
P01.000.0000	7
P02.000.0000	4
⋮	⋮
P11.000.0000	2
gesamt	148

Baukasten-Teileverwendungsnachweis	
Teilenummer: Kxx.xxx.xxx1	
Baugruppe	Mengenfaktor
⋮	⋮
B01.007.0001	14
B02.007.0001	10
⋮	⋮
gesamt	47

Bild 3: Teileverwendungsnachweis (Beispiel)

¹ PPS Kunstwort für Produktionsplanung und -steuerung

1.5 Handhabungs- und Montagefunktionen

Die Herangehensweise bei der Lösung von Montageaufgaben ist die präzise und eindeutige Formulierung des Lösungswegs mit einer Gliederung in *Teilfunktionen* für die *Handhabung* der zu montierenden Teile/Werkstücke.

Handhaben ist nach VDI 2860

- das Schaffen und
 - das definierte Verändern oder
 - das vorübergehende Aufrechterhalten
- einer vorgegebenen räumlichen Anordnung, z. B. einer Lage von Montageteilen in einem Bezugskoordi-natensystem. Bei der Funktionsbeschreibung können weitere Bedingungen wie z. B. Zeit, Menge und Bewegungsbahn vorgegeben sein.

Die Teilfunktionen (**Tabelle 1**) sind:

- Das **Speichern** stofflicher Vorräte, also das Aufbewahren von Montageteilen bzw. von Mengen in geordneter, teilgeordneter oder ungeordneter Weise.

- Das **Verändern** von Mengen. Das bedeutet das Teilen bzw. das Trennen, das Zuteilen, das Sortieren stofflicher Mengen (Montageteilen) oder das Vereinigen, das Zusammenführen oder das Zusammenfügen von Montageteilen.
- das **Bewegen**, also das Schaffen und Verändern einer räumlichen Anordnung von Teilen durch Verschieben, Drehen, Schwenken, Positionieren, Orientieren, Führen oder Weitergeben.
- Das **Sichern** einer definierten räumlichen Anordnung. Dies kann durch Fügen dauerhaft sein z. B. durch Verschrauben, Verschweißen, Verlöten, Verkleben, Verlappen, Verhaken oder vorübergehend durch z. B. durch Halten, Spannen, Lösen.
- Das **Kontrollieren**. Es dient durch **Prüfen** oder durch **Messen** dem Feststellen in wieweit vorgegebene Eigenschaften, z. B. Abmessungen, Teileanzahl bzw. Zustände, z. B. Position von montierten Gebilden oder deren Teile erfüllt sind.
- Hinzu kommen **Justagefunktionen** – das sind vor allem Einstellarbeiten – und **Sonderfunktionen**, wie z. B. das Etikettieren.

Tabelle 1: Handhabungs- und Montagefunktionen

Speichern	Mengen verändern	Bewegen	Sichern und Fügen	Kontrollieren	Justieren und Anpassen	Sonderfunktionen
<ul style="list-style-type: none">• geordnet• teilgeordnet• ungeordnet	<ul style="list-style-type: none">• Teilen, Verteilen, Aufteilen,• Vereinigen,• Abteilen, Vereinzeln,• Zuteilen, Dosieren,• Verzweigen,• Zusammenbringen,• Sortieren	<ul style="list-style-type: none">• Verschieben,• Drehen• Schwenken• Kippen• Ausrichten• Positionieren• Weitergeben• Fördern	<ul style="list-style-type: none">• Halten• Lösen• Spannen• Entspannen• Fixieren durch<ul style="list-style-type: none">- Schweißen,- Löten,- Kleben,- Klipsen,- Verhaken,- Verlappen,- Verschrauben,- Nieten,- Clinchen u. a.	<ul style="list-style-type: none">• Prüfen• Zählen• Messen• Testen	<ul style="list-style-type: none">• Einstellen• Nacharbeiten• Richten• Biegen• Einformen	<ul style="list-style-type: none">• Reinigen• Putzen• Schütteln• Bedrucken• Etikettieren• Erwärmen• Kühlen

Orientierung der Montageteile

Die räumliche Anordnung eines Körpers in einem Bezugskoordinatensystem ergibt sich aus seinen sechs Freiheitsgraden der Bewegung:

- **drei translatorische Freiheitsgrade** für die Position und (Bild 1)
- **drei rotatorische Freiheitsgrade** für die Orientierung (Bild 1).

Der **Orientierungsgrad (OG)** ist gleich der Anzahl der rotatorischen Freiheitsgrade in welchen die Orientierung bestimmt ist.

Man unterscheidet:

- **OG 3:** Es sind alle drei Rotationen bestimmt.
- **OG 2:** Es sind zwei von drei Rotationen bestimmt.
- **OG 1:** es ist eine Rotation bestimmt.
- **OG 0:** Die Körperorientierung ist unbestimmt.

Der **Positioniergrad (PG)** gibt an, in wie vielen Freiheitsgraden die Körperposition bestimmt ist.

Man unterscheidet:

- **PG 3:** Der Ursprung des Körperkoordinatensystems ist in allen **drei** Achsen des Bezugskoordinatensystems X_B, Y_B, Z_B bestimmt.
- **PG 2:** Der Ursprung des Körperkoordinatensystems ist in **zwei** der drei Achsen des Bezugskoordinatensystems X_B, Y_B, Z_B bestimmt. Der Körper liegt z. B. in einer Schiene.
- **PG 1:** Der Ursprung des Körperkoordinatensystems ist in **einer** der drei Achsen des Bezugskoordinatensystems X_B, Y_B, Z_B bestimmt. Der Körper liegt z. B. in einer waagerechten Ebene.
- **OG 0:** Position des Körpers im Bezugskoordinatensystem ist unbekannt.

Ordnungszustand (OZ)

Der Ordnungszustand wird durch den Orientierungsgrad OG und den Positioniergrad PG angegeben.

$$OZ = OG/PG \text{ mit } 0/0 < OZ < 3/3$$

Dabei bedeutet

$OZ = 0/0$ „völlige Unordnung“ und

$OZ = 3/3$ „völlig geordnet“.

Die Angabe erfolgt als Transformationsbeziehung zwischen einem körpereigenen Koordinatensystem X,Y,Z und dem Bezugskoordinatensystem X_B,Y_B,Z_B . Zur Überführung eines Körpers in eine andere Raumorientierung verwendet man die Euler-Winkel. Hier ist die Reihenfolge der Drehbewegung/Drehachse zu beachten, z. B. bei der Eulerkonvention $ZY'Z''$ entsteht durch eine erste Drehung um die Z-Achse das $X'Y'Z'$ -Koordinatensystem, durch eine zweite Drehung um die Y' -Achse das $X''Y''Z''$ -Koordinatensystem und durch die dritte Drehung das $X'''Y'''Z'''$ -Koordinatensystem mit der Endlage (Bild 2).

