

# Kapitel 16

## Altersneutrale Montagegestaltung

Bruno Lotter, Jochen Hartung und Hans-Peter Wiendahl

### 16.1 Einleitung

Für die Gestaltung von Arbeitsplätzen ist die zukünftige Altersstruktur von großer Bedeutung. Mit dem absehbaren demografischen Wandel erhöhen sich das Durchschnittsalter der Belegschaft und damit der Anteil der Mitarbeiter/innen, der einem Leistungswandel unterliegt. Abbildung 16.1 zeigt hierzu eine Prognose des Statistischen Bundesamtes ab 2000 bis zum Jahre 2050, wonach der Bevölkerungsstand um rund 9 % sinkt, der Anteil der für die Produktion wichtigen Gruppe zwischen 20 und 60 Jahren von 45,5 auf 35,4 Mio. sinkt und der Anteil der über 60 jährigen von 19,4 auf 27,5 Mio. Menschen steigt.

Die Unternehmen sind daher gefordert, Strategien für eine alternde Belegschaft zu entwickeln, welche die Veränderung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Kompetenz mit zunehmendem Alter berücksichtigt. Hierzu sind drei Modelle bekannt (Gerst et al. 2007). Das *Defizitmodell* geht von einem unvermeidlichen körperlichen und geistigen Verfall aus und reagiert mit Frühverrentung und Schonarbeitsplätzen. Das seit Anfang der 1990er Jahre entwickelte *Kompetenzmodell* erkennt zwar den Abbau der körperlichen Leistungsfähigkeit, betont aber die reichhaltige Erfahrung und die Fähigkeit zur Problemlösung. Das *Differenzmodell* trennt das kalendarische vom biologischen Alter und sieht das biologische Alter als Ergebnis der individuellen Begabung, Bildung, gesundheitlichen Konstitution und vor allem der Erwerbsbiographie.

---

B. Lotter (✉)

Industrieberatung Montagetechnik Oberderdingen, Oberderdingen, Deutschland  
E-Mail: BrunoLotter@t-online.de

J. Hartung

Lehrstuhl APS Arbeits- und Produktionssysteme,  
TU Dortmund, Dortmund, Deutschland  
E-Mail: jochen.hartung@tu-dortmund.de

H.-P. Wiendahl

Institut für Fabrikanlagen und Logistik, Universität Hannover, Hannover, Deutschland  
E-Mail: wiendahl@ifa.uni-hannover.de

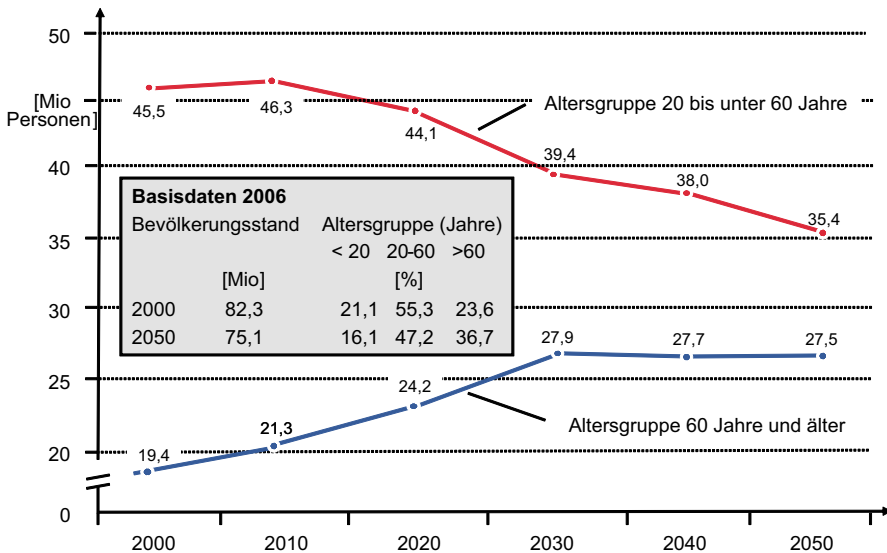


Abb. 16.1 Altersentwicklung in Deutschland. (Statist. Bundesamt)

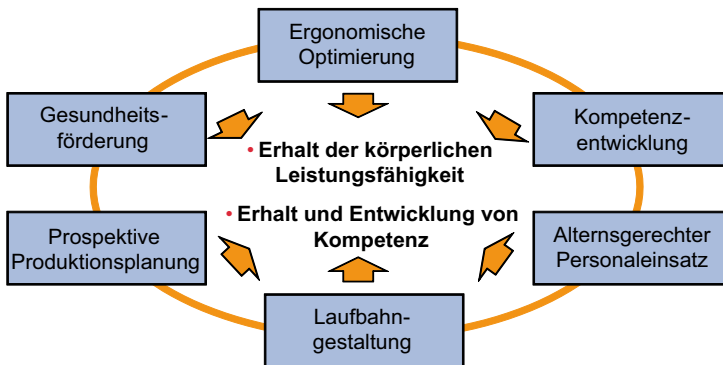


Abb. 16.2 Ziele und Maßnahmen einer altersgerechten Gestaltung von Arbeit. (Gerst et al. 2007)

Als Ergebnis der differenzierten Betrachtung empfehlen sich die in Abb. 16.2 aufgeführten Maßnahmen einer altersgerechten Arbeitsgestaltung, die zum Erhalt von Leistungsfähigkeit und Kompetenz, aber nicht erst mit 50 Jahren einsetzen dürfen, sondern viel früher (Gerst et al. 2007).

Die ergonomische Optimierung konzentriert sich auf die Vermeidung körperlicher Fehlhaltungen. Mit der Kompetenzentwicklung wird eine kontinuierliche Weiterqualifizierung und eine lernförderliche Umgebung angestrebt, wie sie mit der Gruppenarbeit verwirklicht wird. Der altersgerechte Personaleinsatz wird durch Job Rotation und Schonarbeitsplätze unterstützt. Ein ganzheitlicher Ansatz wird mit der Laufbahngestaltung angestrebt, die über das gesamte Erwerbsleben einen

weit reichenden Wechsel an Belastungen und Beanspruchungen ermöglicht. Für den Montagesystemgestalter besonders relevant ist der Ansatz der alternsgerechten Produktionsplanung, der voraussehbaren Veränderungen der Altersstruktur durch wandlungsfähige Arbeitsplätze und Arbeitsinhalte begegnet. Und schließlich ist die präventive Gesundheitsförderung zu beachten, mit der Anreize in Form von Sportprogrammen, Rückenschulungen, Ernährungsseminaren usw. geschaffen werden, um sich dem Thema Gesundheit und Altern aktiv zu stellen.

## 16.2 Notwendige Veränderungen für alternsgerechte Montagen

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass ältere Mitarbeiter nicht schlechter arbeiten; häufig sind sie in der Ausübung ihrer Tätigkeiten sogar gründlicher. Nicht die Arbeitsfähigkeit lässt nach, sondern die physische Leistungsfähigkeit. Von Vorteil sind jedoch Aspekte wie Erfahrung, Qualitätsbewusstsein und Zuverlässigkeit, welche ältere Mitarbeiter vorweisen können.

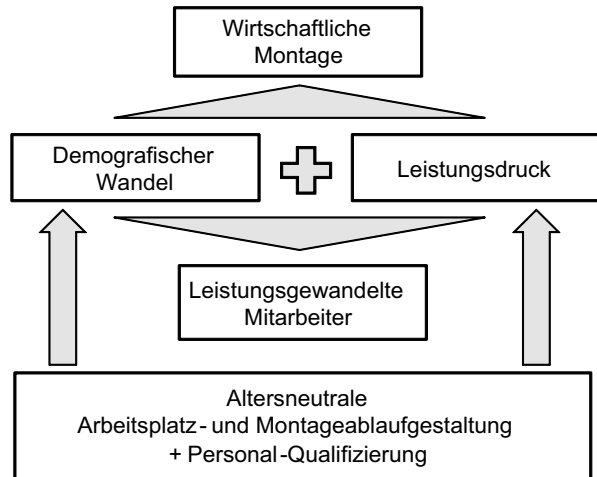
Ursache der Leistungsveränderung ist nicht nur das zunehmende Alter und der gleich bleibende Leistungsdruck, sondern auch eine unsachgemäße Arbeitsplatz- und Arbeitsablaufgestaltung. Die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung wird teilweise mangelhaft bis schlecht ausgeführt und ist Mit-Ursache der Leistungsveränderung. Darüber hinaus ist festzustellen, dass älteren Mitarbeitern oder Mitarbeiterinnen eine berufliche Weiterqualifizierung meistens versagt wird.

Im Detail sind aus Beobachtungen in der Praxis nachstehende Ursachen in hohem Maße für die Leistungsveränderung der Mitarbeiter/-innen erkennbar:

- Mangelhafte bis schlechte ergonomische Gestaltung der Arbeitsplätze
  - viele Handgriffe außerhalb des optimalen Greif- und Sehraumes
  - Tätigkeiten über Herzhöhe
  - große Greifwege zur Teile- und Werkzeughandhabung
- Extrem kurze Taktzeiten bei der Fließmontage
  - kein individuelles Leistungsverhalten möglich
  - extrem hoher Leistungsdruck
- Gruppenarbeit
  - birgt die Gefahr, Leistungsschwache auszugrenzen.

Insgesamt geht es darum, leistungsgewandelte Mitarbeiter/-innen nicht primär durch junge Leute zu ersetzen, sondern eine Strategie zur Bewältigung des Leistungswandels zu entwickeln und so die unverzichtbaren Kenntnisse und Erfahrungswerte älterer Mitarbeiter zu bewahren. Abbildung 16.3 zeigt eine solche Strategie, die bei ergonomisch konsequent ausgerichteten altersneutralen Arbeitsplatz- und Montageablaufgestaltung bei gleichzeitiger Personalqualifizierung ansetzt. Dadurch wird der Leistungsdruck gemindert, die Zunahme leistungsgewandelter Mitarbeiter kompensiert und so eine wirtschaftliche Montage gesichert.

**Abb. 16.3** Strategie der manuell-hybriden Montage.  
(Gerst et al. 2007)



Aus diesen Überlegungen ergeben sich zunächst folgende allgemeine Gestaltungsansätze:

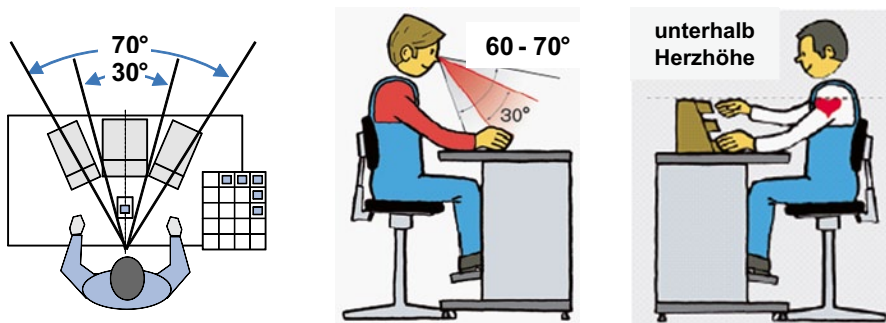
- Altersneutrale Arbeitsplatz- und Systemgestaltung unter strenger Einhaltung ergonomischer Vorgaben.
- Erhöhung des Arbeitsinhaltes bei taktgebundener Fließmontage zur Vermeidung kurzer Taktzeiten.
- Umstellung der taktgebundenen Fließmontage auf das System One Piece Flow
- Leistung pro Stunde in eine Vorgabe pro Schicht ändern, um ein individuelles Leistungsverhalten zu ermöglichen.
- Berufliche Weiterqualifizierung aller Altersgruppen.

Spezielles Augenmerk verdient die ergonomische Gestaltung der Arbeitsplätze. Sie verhindert eine schnelle Ermüdung und die frühzeitige Zunahme der Anzahl leistungsveränderter Mitarbeiter. Sie sichert darüber hinaus eine höhere Leistung, ohne dabei den Leistungsdruck zu erhöhen.

Die wichtigsten Grundsätze ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung aus Bewegungssicht sind in Abb. 16.4 schematisch dargestellt und lassen sich in folgende Empfehlungen fassen:

- Der Greifbereich sollte innerhalb eines horizontalen Blickwinkelbereichs von 35 Grad nach rechts und links liegen.
- Der Fügebereich sollte innerhalb eines Winkels von 15 Grad nach rechts und links liegen.
- Die Teilbereitstellung sollte dem optimalen Greifbereich von 30 cm möglichst weitgehend angepasst sein.
- Teilehandhabung, die zwangsweise mit Körperbewegungen wie Gehen, Beugen und Aufrichten verbunden sind, sollten weitgehend vermieden werden.
- Greif- oder Fügevorgänge über Herzhöhe sind zu vermeiden.
- Die Beleuchtung sollte schattenfrei sein.

Weitere Hinweise sind in Abschn. 5.2 zu finden.



**Abb. 16.4** Richtlinien ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung. (Quelle: Rexroth Bosch Group)

MTM-Analysen (engl. methods-time measurement, deutsch: Arbeitsablauf-Zeit-analyse AAZ) zeigen darüber hinaus deutlich, dass die Montagevorgangszeit der fünf Grundbewegungen Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen in hohem Maße durch den Zeitaufwand für die Handhabungswege des Hinlangens und Bringens bestimmt werden (Details des MTM-Verfahrens sind in Abschn. 4.4.3. beschrieben).

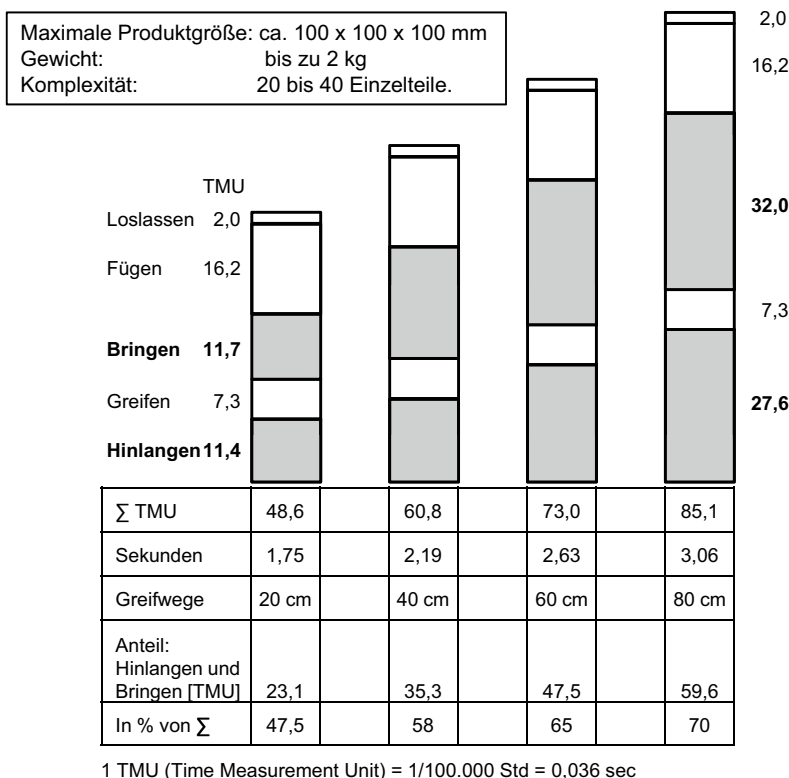
Welchen Einfluss eine Veränderung der Handhabungswege hat, zeigt Abb. 16.5 am Beispiel eines kleinen Produktes. Hier wurde der Greifweg von 20 auf 80 cm in Stufen von 20 cm vergrößert. Es zeigt sich, dass sich der Montagezeitaufwand von 1,75 Sekunden bei 20 cm Greifweg auf 3,06 Sekunden bei einem Greifweg von 80 cm und damit um 75 % erhöht.

Greifwege über 40 cm erfordern eine ausgestreckte Armhaltung. Die daraus resultierende statische Beanspruchung der Oberarm- und Schultermuskulatur verringert die Genauigkeit und kann zur frühzeitigen Leistungswandlung führen (Grandjean 1991). Große Greifwege mit zusätzlichen Körperbewegungen wie z. B. Drehen, Gehen, Beugen und Aufrichten usw. sind weitgehend zu vermeiden.

Aus wirtschaftlicher und ergonomischer Sicht ist festzustellen, dass große Greifwege die Vorgangszeit überproportional erhöhen und damit ein Rationalisierungspotenzial darstellen (Lotter 1992). Diese Ansätze sollen zunächst an einem Beispiel näher untersucht werden, bevor für je ein kleines und großes Produkt Konzeptvergleiche vorgestellt werden.

### 16.3 Analyse eines konventionellen Arbeitsplatzes

Die bisher in Kap. 3, 5, 6 und 7 vorgestellten Analysen sind entsprechend der MTM-Methodik zeitorientiert. Sie wurden mit Hilfe der Primär-Sekundär-Analyse um die Frage ergänzt, welche Zeitanteile wertschöpfend (primär) und welche nicht wertschöpfend (sekundär) sind (Lotter et al. 2002). Für die Beurteilung der Ergonomie muss noch die Dimension Weg (Greifwege) und Masse (Produktgewicht) hinzukommen. Hierzu soll zunächst an einem einfachen Beispiel die Wegbetrachtung erfolgen (vgl. Lotter und Hartung 2012).

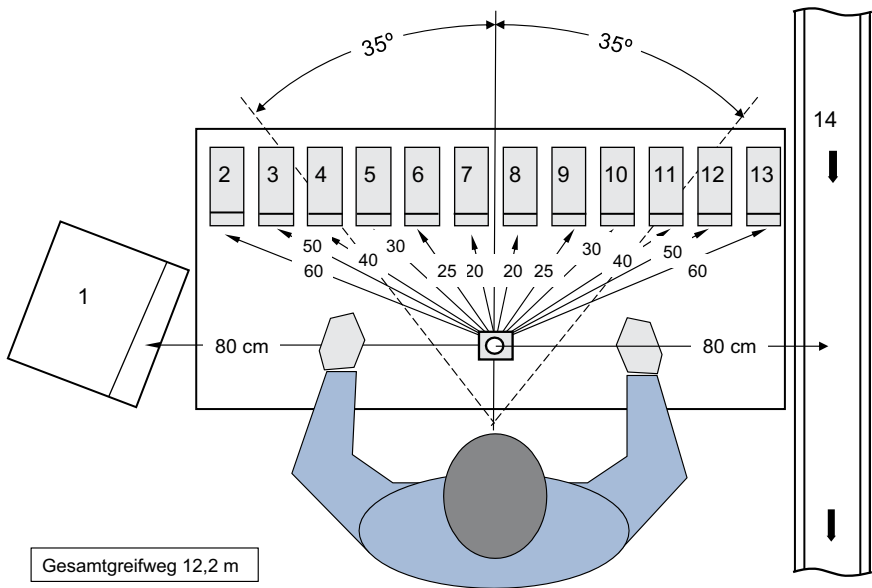


**Abb. 16.5** Montagezeitentwicklung bei unterschiedlichen Greifwegen

Eine weit verbreitete Arbeitsplatzgestaltung für ein fiktives Produkt, bestehend aus 13 Einzelteilen und einem Vorgang des Ablegens des fertig montierten Produktes auf ein Förderband (Nr. 14), ist in Abb. 16.6a dargestellt. Abbildung 16.6b zeigt die Berechnung der Vorgangszeiten für jedes Teil entsprechend den MTM-Grundbewegungen Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen. Der Aufwand für den Fügevorgang ist einheitlich für alle Einzelteile mit 16,2 TMU angenommen worden. Die Greifwege liegen zwischen 20 bis 80 cm. Für dieses Beispiel errechnet sich eine Gesamtmontagezeit von 864,2 TMU=31,1 s. Der Anteil für Hinlangen (248,8 TMU) und Bringen (274,6 TMU) beträgt 523,4 TMU=18,8 s und entspricht damit 60,5 % der Gesamtmontagezeit.

Unter Berücksichtigung einer persönlichen Verteilzeit von 10 % erhöht sich die Montagezeit von 31,1 s. auf 34,2 s. Damit ergibt sich eine Stundenleistung von 3.600 s/ 34,2 s=105 und bei einer 7-Stunden-Schicht an 230 Arbeitstagen eine Jahresleistung von 169.050 montierten Baugruppen.

In Tab. 16.1 ist eine Aufteilung der Einzelvorgänge in Primär- und Sekundäraufwand vorgenommen worden, wobei alle Bewegungen über 20 cm als Sekundärvorgang gelten (Einzelheiten der Berechnungsmethode s. Kap. 3).



a

Teil Nr. ►	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Summe	
Vorgang nach MTM	Hinlangen R-C	27.7	22.3	19.6	16.8	14.1	12.1	11.4	11.4	12.5	14.1	16.8	19.6	22.3	27.7	248.8
	Greifen G1C1	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	102.2	
	Bringen M-C	32.0	25.2	21.8	18.5	15.1	13.0	11.7	11.7	13.0	15.1	18.5	21.8	25.2	32.0	274.6
	Fügen P2SE	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	-	210.6	
	Loslassen RL1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	28	
	Summe [TMU]	85.2	73.0	66.9	60.8	54.7	51.0	48.6	48.6	51.0	54.7	60.8	66.9	73.0	69.0	864.2
	Summe [sec]	3.1	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.7	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.5	31.1

b

1 TMU = Time Measurement Unit = 1/100.000 Std. = 0,036 sec

Abb. 16.6 Beispiel manueller Arbeitsplatz. a Anordnung Montagearbeitsplatz. b Berechnung der Vorgangszeiten nach MTM

Daraus errechnet sich ein Montagewirkungsgrad von  $636,2/864,2=73,6\%$ . Dieser Wirkungsgrad ist nicht ausreichend und müsste in der Größenordnung von ca. 85 % liegen. Ursache für das schlechte Ergebnis sind die großen Greifwege.

Rechnet man die notwendigen Greifwege nach Abb. 16.6a zusammen, ergeben sich zur Montage einer Baugruppe 12,2 m. Für die Jahresleistung von

**Tab. 16.1** Berechnung der Primär und Sekundärvorgänge aus Abb. 16.6b

Grundbewegungen	MTM-Code	Einteilung	PV [TMU]	SV [TMU]
Hinlangen	R-C	bis 20 cm: PV, >20 cm: SV	159,6	89,2
Greifen	G1C1	PV	102,2	
Bringen	M-C	bis 20 cm: PV, >20 cm: SV	163,8	110,8
Fügen	P2SE	PV	210,6	
Loslassen	RL1	SV		28
		<i>Summe</i>	<i>636,2</i>	<i>228</i>

169.050 Baugruppen ergeben sich dementsprechend  $12,2 \text{ m} \times 105 \text{ Stück/h} \times 7 \text{ h/Tag} \times 230 \text{ Tage} = 2.062 \text{ km}$ .

Aus ergonomischer Sicht liegen 50 % der Greifwege im Bereich von über 40 cm bis zu 80 cm und sind nur mit zusätzlichen Kopf- und Körperdrehungen ausführbar. Diese Belastung führt über eine Schicht zu anhaltender Ermüdung und kann zu frühzeitiger Leistungswandlung führen. Bemerkenswert ist, dass ein schlechter Primär-Sekundär-Montagewirkungsgrad auch auf ungünstige ergonomische Verhältnisse hinweist.

## 16.4 Montagekonzept-Analyse für ein kleines Produkt

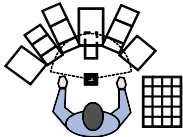
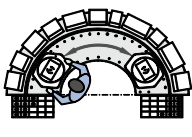
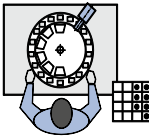
Im nächsten Schritt soll ein Vergleich verschiedener Montagekonzepte für ein kleines Produkt vorgestellt werden, um den Zusammenhang zwischen Wirtschaftlichkeit und Ergonomie tiefer zu durchdringen und Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Als Beispiel wird der in Abschn. 5.4.2, Abb. 5.15 vorgestellte Elektroschalter gewählt. Er wird in Variante 1 an dem in Bild 5.16 gezeigten Arbeitsplatz in einer *Werkbankmontage* stückweise komplett gefügt. Die Montagezeit beträgt laut Primär-Sekundär-Analyse (Tab. 5.3) insgesamt 1.158,3 TMU (das entspricht 41,7 s.) und der Montagewirkungsgrad 74,4 %. Die Werkbankmontage ist der am meisten eingesetzte Montagearbeitsplatz und erlaubt nur stückweisen Montageablauf.

Als zweite Variante soll der Elektroschalter an dem in Abb. 5.22 gezeigten Arbeitsplatz nach dem *One Piece Flow-Prinzip* montiert werden. Der Montagearbeitsplatz ist mit einer halbkreisförmigen Kugelrollenbahn mit entsprechender Teilebereitstellung ausgerüstet. Die Montage erfolgt auf einem verschiebbaren Montageschlitten mit Montagevorrichtung. Das Montageobjekt (auf dem Montageschlitten) und der Werker bewegen sich entlang der in Greifbehältern bereitgestellten Fügeile. Damit werden einheitlich kurze Greifwege erreicht. Die nach demselben Schema wie in Tab. 5.3 berechnete Montagezeit beträgt hier 30,8 s. und der Montagewirkungsgrad 85 %.

Die dritte Variante sieht eine Montage mit einem *satzweisen Montageablauf* vor und ist in Rundtaktausführung nach Abb. 5.19 mit 12 bis 24 Montageaufnahmen und zentral angeordneter Teilebereitstellung aufgebaut. Die genauere Beschreibung findet sich in Abschn. 5.4.4 Fallbeispiel 3.



Kennwerte ▼	Montagesystem		
	Werkbank	One Piece Flow	Satzweise Montage
			
Montagezeit/Stück	41,7 s	30,8 s	22 s
Stückleistung/h	86,4	117,6	163,6
Greifwege/Stück	12,20 m	7,70 m	5,04 m
Greifwege/h	1.054 m	905,5 m	825 m
Greifwege/Tag/Schicht	7.378 m	6 685 m	5 775 m
Greifwege/Jahr/Schicht	1.697 km	1 458 km	1 328 km
Körperbelastung	hoch	gering	gering
Ergonomie	gering	sehr gut	sehr gut
Montagewirkungsgrad	74 %	85 %	86,5

**Abb. 16.7** Montagesystem-Vergleich für ein Beispielprodukt Elektroschalter

Abbildung 16.7 stellt die Varianten mit ihren wesentlichen Kennwerten zusammen. Bei diesem ersten Vergleich fällt als erstes die Reduzierung der Montagezeit der One Piece Flow-Lösung gegenüber der Werkbank um 26 % und der satzweisen Montage um 47 % auf. Dieser Effekt ist in erster Linie auf die verminderten Greifwege um 37 % bzw. 58 % zurückzuführen.

#### • Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Mithilfe einer Platzkostenrechnung nach Tab. 16.2 wurden nun die jeweiligen Montagestückkosten ermittelt. Bei einer Stundenleistung von 86,4 Elektroschaltern errechnen sich für das Werkbankprinzip Montagestückkosten von 0,36 €. Bei der One Piece Flow Lösung erhöht sich die Leistung pro Stunde auf 117,6 Stück und die Montagestückkosten reduzieren sich um 0,08 € auf 0,28 € entsprechend 22 %. Mit dem System der satzweisen Montage erhöht sich die Leistung pro Stunde noch einmal auf 163,6 Stück pro Stunde und die Montagestückkosten reduzieren sich auf 0,21 € entsprechend 42 % gegenüber der Werkbankmontage. Auch hier erweist sich die satzweise Montage den beiden anderen Prinzipien deutlich überlegen.

#### • Bewertung der Ergonomie

Die ergonomische Bewertung der Arbeitssysteme erfolgt auf Basis der gezeigten MTM-Planungsanalysen. Die eigentliche Bewertung der Ergonomie erfolgt durch ein sogen. Screening-Verfahren (Schaub 2004). Diese Verfahren liefern eine Analyse der Belastungssituation und ermöglichen eine Risikobewertung. Es lassen sich die Probleme und deren Ursachen bei der Arbeitsgestaltung systematisch identifizieren und Gestaltungsmaßnahmen zielgerichteter durchführen. Für die ergonomische Bewertung von manuellen Montagearbeitsplätzen, wie sie bspw. in Abb. 16.7 dargestellt werden, sind verschiedene physische Belastungsarten zu berücksich-

**Tab. 16.2** Wirtschaftlichkeitsvergleich für Systeme nach Abb. 16.7

		Montagesystem Werkbank	One Piece Flow	Satzweise Montage
Investition	[€]	8.000	30.000	48.000
Abschreibung auf 5 Jahre	[€/Jahr]	1.600	6.000	9.600
Kalk. Zinsen 10 % von 50 % Invest	[€/Jahr]	400	1.500	2.400
Instandhaltung 5 % vom Invest	[€/Jahr]	400	1.500	2.400
Betriebskosten	[€/Jahr]	2.400	9.000	14.400
Betriebskosten bei 3.220 Std/Jahr	[€/JStd]	0,75	2,80	4,47
Personalkosten	[€/JStd]	30,00	30,00	30,00
Stundensatz Montageplatz	[€/JStd]	30,75	32,80	34,47
Leistung	[Stück/Std]	86,40	117,60	163,60
Montagestückkosten	[€/Stück]	0,36	0,28	0,21

tigen. Körperhaltungen und -bewegungen, deren Kraftaufwand, die Handhabung von Lasten sowie das Ausüben von Aktionskräften beeinflussen die ergonomische Situation einer manuellen Montage. Die Bewertung der ergonomischen Belastung erfordert daher eine kombinierte Betrachtung dieser Belastungsarten.

Ein geeignetes Verfahren zur Bewertung der Ergonomie unter diesen Rahmenbedingungen stellt das „Automotive Assembly Worksheet Plus“ (AAWS+) dar (Kugler et al. 2010). Das Bewertungsverfahren basiert auf dem 2004 entwickelten AAWS Verfahren (Schaub 2004, S. 91 ff) des Instituts für Arbeitswissenschaften der TU Darmstadt (IAD). Die anschließende europäische Erweiterung in Form des „European Assembly Worksheets“ (EAWS) berücksichtigt zudem alle ergonomie-relevanten EU-Richtlinien (Schaub et al. 2007). Das AAWS+ ist eine aktualisierte und neu strukturierte Variante des EAWS. Es ermöglicht eine ergonomische Risikoanalyse manueller Montagetätigkeiten unter Berücksichtigung von statischen sowie kurzzyklischen repetitiven Ganzkörperkräften. Dabei werden die Belastungsarten in Teilbelastungen unterteilt und mit Punkten bewertet. Je höher der Punktwert, desto höher das gesundheitliche Risiko. Das Verfahren summiert die Teilbelastungen und deren Punktwerte und liefert somit eine Risikobeurteilung der Gesamtsituation des Arbeitssystems.

Die Risikoeinstufungen erfolgen anhand eines Drei-Zonen-Modells auf Basis des Ampelprinzips (vgl. DIN EN 614–1 2006, S. 20 f). Punktwerte von 0–25 (grüner Bereich) stellen ein geringes Risiko dar, Werte zwischen 26 und 50 Punkten (gelber Bereich) ein mittleres Risiko und bei einem Ergebnis > 50 Punkte (roter Bereich) besteht ein hohes gesundheitliches Risiko. Zu beachten ist dabei, dass die Übergänge der einzelnen Bereiche fließend sind. Ein Bewertungsergebnis mit 25 Punkten aus dem grünen Bereich kann ebenso gefährdend und risikoreich sein, wie ein Ergebnis mit 26 Punkten aus dem gelben Bereich.

Um aussagekräftige Bewertungsergebnisse zu erhalten sind die Arbeitsabläufe der MTM-Planungsanalysen anhand von individuellen Gegebenheiten zu prüfen. Größen, geschlechts- oder Kraftunterschiede führen bei gleicher Belastung zu individuell unterschiedlichen Beanspruchungen. Zur weitgehend alters- und geschlechterneutralen Betrachtung werden für die Analysen das 50. Körpermaß-

**Tab. 16.3** Ergonomische Bewertung der Systeme nach Abb. 16.7

Montageprinzip >	Montagesystem Werkbank		One Piece Flow		Satzweise Montage	
50. Perzentil	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer
Punktwert der Analyse	34,5	28,5	16,5	14,3	10	8
Mögliches Risiko	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Empfehlung	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Maßnahmen erforderlich	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Einstufung nach DIN EN 614-1	gelb	gelb	grün	grün	grün	grün

perzentil und 50. Kraftperzentil der weiblichen bzw. männlichen Nutzerpopulation verwendet (vgl. DIN 33402–2 2005 und DIN 33411–5 1999). Beim Perzentil handelt es sich um einen Prozentrang, der eine Teilmenge aus einer Gesamtheit beschreibt. Wenn bei der Körpergröße von Männern das 50. Perzentil 1,83 Meter beträgt, sind statistisch gesehen 50 % aller Männer nicht größer als 1,84 Meter. Diese Prozentränge finden bei der ergonomischen Bewertung bezüglich der Körpermaße und Kräfte ihre Berücksichtigung. Die Ergebnisse der Bewertung sind in Tab. 16.3 aufgeführt.

Die Ergebnisse der ergonomischen Bewertung berücksichtigen dabei den kurzzyklischen Arbeitsablauf der manuellen Montage, unter der Voraussetzung, dass die Arbeitsinhalte über den betrachteten Zeitraum von einer Schicht konstant bleiben.

**Montagesystem Werkbankmontage** Der hohe Anteil (57 %) an Handhabungsvorgängen in Entfernungen von  $\geq 40$  cm führt dazu, dass ein Handhaben dieser Teile nur durch eine zusätzliche Rumpfdrehung bzw. -neigung und unter gestreckter Armhaltung auszuführen ist. Für die hochfrequenten Armbewegungen in diesen Bereichen entsteht daraus eine erhöhte physische Belastung der Mitarbeiter. Kombiniert betrachtet ergibt sich daraus ein mögliches Risiko. Das analysierte Montagesystem ist daher als nicht empfehlenswert einzustufen. Es sollten Maßnahmen zur Gestaltung bzw. Risikobeherrschung ergriffen werden.

**Montagesystem „One Piece Flow“** Durch die geänderte halbkreisförmige Teilerebereitstellung entlang der Kugelrollenbahn sind die Handhabungswege auf maximal 30 cm reduziert. Die Handhabungsvorgänge werden im optimalen Sichtfeld ausgeführt und benötigen keine Rumpfneigungen ( $>20^\circ$ ) mehr. Die Handhabungs- und Montagevorgänge werden in sitzender oder stehender Haltung, ggf. leicht vorgebeugt, ausgeführt. Rumpfdrehungen sind schwach ausgeprägt und werden nur noch vereinzelt benötigt. Die Montageaufgabe ist als empfehlenswert einzustufen, es besteht kein physisches Belastungsrisiko und Maßnahmen sind nicht erforderlich.

**Montagesystem „Satzweise Montage“** Durch die Verwendung des Rundtakttitisches sind die Greifwege auf ein Minimum reduziert (15–20 cm). Sie liegen für alle Montageoperationen an einem Produkt im körpernahen Bereich. Rumpfneigungen ( $>20^\circ$ ) sind für diese Ausführungen nicht erforderlich. Lediglich für die Ablage der montierten Baugruppen ist eine Rumpfneigung ( $>20^\circ$ ) bzw. Rumpfdrehung notwendig. Die Arbeitsweise innerhalb der satzweisen Montage erhält den niedrigs-

ten (besten) Punktwert der bewerteten Montagesysteme für kleine Produkte und ist somit als empfehlenswert zu bezeichnen. Es besteht kein physisches Belastungsrisiko und Maßnahmen sind nicht erforderlich. Die Greifwege sind mit ca. 16 cm extrem kurz und die Belastung der Arm- und Schultermuskulatur sehr gering. Alle Fügevorgänge sind im optimalen Blick- und Arbeitsraum durchführbar. Schnelle Ermüdung wird vermieden.

Zu beachten ist, dass eine Verkürzung der Zykluszeit durch optimierte Montagesysteme zu einer erhöhten Zyklusanzahl des Arbeitsinhaltes führt. Die Tätigkeit und Dauer eines Zyklus betrachten Kombinationsverfahren wie das AAWS+ prozentual z. B. über den Zeitraum einer Schicht. In wie weit dies ggf. zu einer zusätzlichen Belastung führen kann (Dosisverfahren, kumulative Betrachtung der Belastung, Berücksichtigung von Erholungspausen etc. vgl. Ellegast 2005), lässt sich mit dem Detaillierungsgrad der Kombinationsverfahren nicht erkennen. Insgesamt wird durch den Systemvergleich jedoch deutlich, dass eine hohe Leistung und damit hohe Wirtschaftlichkeit in keinem Widerspruch zu einer ergonomisch guten Arbeitsplatzgestaltung stehen müssen.

## 16.5 Montagekonzept-Analyse für ein großes Produkt

Für große Produkte sollen folgende Eigenschaften gelten:

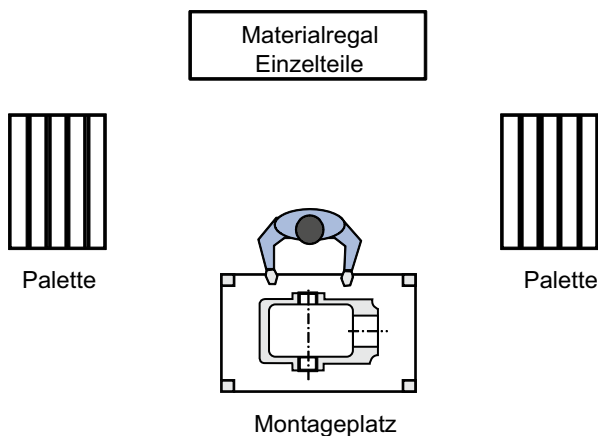
Max. Produktgröße:	ca. 800 mm × 800 mm × 1.800 mm,
Gewicht:	bis ca. 140 bis 150 kg,
Komplexität:	80 bis 150 Einzelteile.

Bei der Einzelplatz- oder Gruppenmontage sind die Montagearbeitsplätze nach dem Prinzip der Baustellenmontage gestaltet. Das Prinzip der Gruppenmontage besteht darin, dass mehrere Montageobjekte an benachbarten Montageplätzen gleichzeitig montiert werden. Die Montageobjekte bleiben stationär, das Montagepersonal wechselt an den aufgestellten Montageobjekten.

Durch die notwendige Bereitstellung einer hohen Anzahl von Einzelteilen und/oder vormontierten Baugruppen sowie der notwendigen Zugänglichkeit von allen Seiten zum Montageobjekt hat die Baustellenmontage einen großen Platzbedarf. Gegenüber der Kleingerätemontage sind bei der Baustellenmontage Materialbereitstellung und Montageobjekt räumlich voneinander getrennt. Bei der Kleingerätemontage beschränkt sich der Aufwand der Teilehandhabung auf Greifwege durch Hand und Arm. Dagegen werden bei der Baustellenmontage für die Handhabung der Einzelteile oder Werkzeuge Körperbewegungen wie Drehen, Gehen, Beugen, Bücken und Aufrichten notwendig.

Als Analysebeispiel soll der in Abb. 16.8 dargestellte Montagearbeitsplatz eines großen Produktes dienen. Das fiktive Produkt besteht aus 107 Einzelteilen mit einem Gewicht von 136,6 kg. Das Basisteil mit 60 kg Gewicht wird mithilfe des Hallenkrans am Montagearbeitsplatz bereitgestellt. Zwei notwendige Großteile mit 20 kg bzw. 15 kg Gewicht stehen auf zwei am Hallenboden platzierten Paletten

**Abb. 16.8** Baustellenmontageplatz für ein großes Produkt (Lotter und Schilling 1994)



bereit. Die Kleinteile mit einem Durchschnittsgewicht von 0,4 kg werden in einem Materialregal bereitgestellt. Davon sind 23 Teile in den unteren Ebenen des Regals angeordnet, so dass ein Bücken und Wiederaufrichten erforderlich ist. Die übrigen 81 Einzelteile können in aufrechter Körperhaltung entnommen werden. Die Montagezeit beträgt auf Basis einer Vorstudie 15 min, womit sich eine Leistung von 4 Produkten pro Stunde ergibt.

Bei Großprodukten spielt das Teilgewicht für die Beanspruchung der Montagerwerker die dominierende Rolle. Das zu handhabende Teilgewicht beträgt in diesem Fall je Produkt:

2 Großteile 20 bzw. 15 kg =	35,0 kg
104 Kleinteile je 0,4 kg =	41,6 kg
In Summe also	76,6 kg
und damit pro Stunde	306,4 kg.

Pro Schicht sind das 2.144,8 kg und bei 230 Arbeitstagen pro Jahr 493 t. Davon entfallen auf die beiden Großteile 225 t.

Beim Fügen von Teilen an großen Objekten sind Fügevorgänge in gebückter Körperhaltung nicht immer zu vermeiden. Bei dem Beispiel-Montageprodukt müssen innerhalb der vorgesehenen Montagezeit von 15 min 25-mal Einzelteile in gebückter Körperhaltung aufgenommen werden. Unter der weiteren Annahme, dass insgesamt 35 Teile in gebückter Haltung zu fügen sind, wird innerhalb von 15 min also 60-mal ein Bücken und Aufrichten des Montagewerkers notwendig. Dies stellt eine Belastung von Muskulatur und Rückgrat dar und führt zur Ermüdung. Ein gesundheitliches Risiko entsteht bei der manuellen Handhabung schwerer Lasten mit der Folge der Überbeanspruchung der Gelenke, Muskeln, Bandscheiben und Wirbelsäule.

Tabelle 16.4 enthält die Anhaltswerte für Lastengewichte im Sinne der Berufskrankheitenverordnung (BKV1997). Diese Werte gelten für Lasten, die eng am Körper getragen werden. Mit länger werdender Tragdauer (Wegstrecke zwischen Aufnehmen und Fügen) wird die Greifkraft der Finger immer schwächer. Jede Ver-

**Tab. 16.4** Empfohlene Grenzlaster für das Heben und Tragen von Lasten (Bongwald et al. 1995)

Lebensalter	Zumutbare Last [kg]			
	Häufigkeit des Hebens und Tragens			
	gelegentlich		häufiger	
	Frauen	Männer	Frauen	Männer
15–18 Jahre	15	35	10	20
19–45 Jahre	15	55	10	30
ab 45 Jahre	15	45	10	25

kürzung der Tragdauer bedeutet einen besonderen Gewinn infolge exponentieller Reduzierung der Ermüdung (Luczak und Bregas 2009, S. 314 ff).

Wesentlich ist auch die Körperhaltung bei der Lastenhandhabung. Eine Lastenaufnahme in gebückter Haltung sollte vermieden werden. Eine Kombination aus Bücken und einer Schrittbewegung ist bei einer Lastenaufnahme nicht zulässig. Um eine Leistungswandlung in der Montage von Großgeräten zu reduzieren bzw. zu verhindern, ist daher die Verbesserung der Arbeitsplatzgestaltung in folgenden Punkten notwendig:

1. Paletten mit schweren Werkstücken sind nicht mehr auf dem Hallenboden, sondern auf Lagerböcken in passender Greifhöhe zu platzieren.
2. Die Bereitstellung der Kleinteile muss so gestaltet werden, dass beim Aufnehmen ein Bücken und damit ein Aufrichten nicht mehr notwendig wird.
3. Das Montageobjekt muss auf einer in der Höhe verstellbaren Montageaufnahme platziert sein.
4. Die Handhabungswege bei schweren Einzelteilen sind so weit wie möglich zu verkürzen.

Hierzu sollen im Folgenden einige Vorschläge vorgestellt werden.

#### • Bereitstellung der Großteile auf Paletten

Befinden sich auf einer Palette mehrere Werkstücke, ist eine Ablage auf einer Drehscheibe als Teil eines Lagerbocks vorteilhaft. Hierzu zeigt Abb. 16.9 eine mögliche Lösung, die neben der drehbaren Aufnahme­fläche auch noch eine Höhenverstellung zur Anpassung an unterschiedliche Körperhöhen ermöglicht.

#### • Bereitstellung der Kleinteile

Die Bereitstellung von Kleinteilen, beispielsweise bis zu einem Gewicht von max. 2 kg, erfolgt in der Regel in angepassten Greifbehältern, angeordnet in Regalen. Die unterste Position der Greifbehälter befindet sich auf der Ebene des Hallenbodens und bedeutet, dass sich die Werker zur Entnahme dieser Teile bücken und aufrichten müssen. Um die Entnahme aus dem Greifbehälter in ergonomisch bester Position sicherzustellen, können sog. dynamische Bereitstellungsregale zum Einsatz kommen. Die Bereitstellungsebenen sind dabei nicht mehr fixiert, sondern können zur Anpassung an die optimale Entnahmeposition höhenverstellt werden. Eine Grundvoraussetzung beim Einsatz dieser Bereitstellungsregale ist, dass die Anordnung der Greifbehälter der Montagerangfolge entspricht.

**Abb. 16.9** Höhenverstellbarer Lagerbock mit drehbarer Aufnahme­fläche

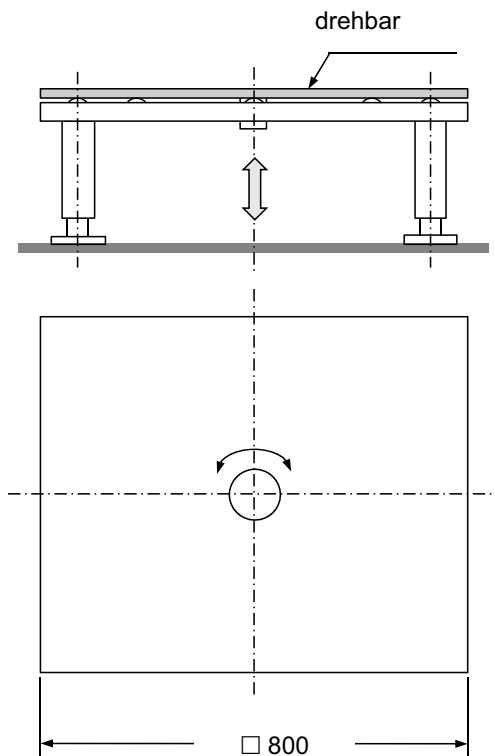
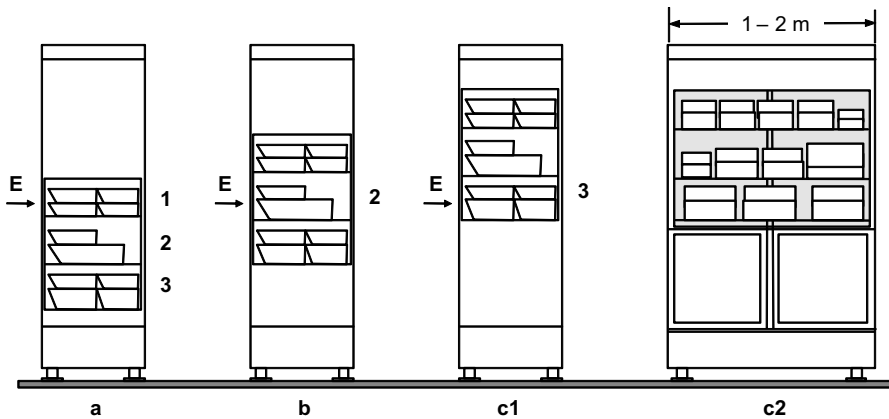


Abbildung 16.10 zeigt ein System mit drei unterschiedlichen Bereitstellungsebenen. Die Entnahmehöhe der Teile ist auf einen Meter eingestellt. Abbildung 16.10a zeigt die Stellung für die Entnahme der bereitgestellten Teile der Ebene 1, Abb. 16.10b die Stellung der Ebene 2 und Abb. 16.10c die Stellung der Ebene 3 Teile. Damit sind alle Teile in gleicher Höhe zu entnehmen und ein Bücken und Aufrichten wird vermieden.

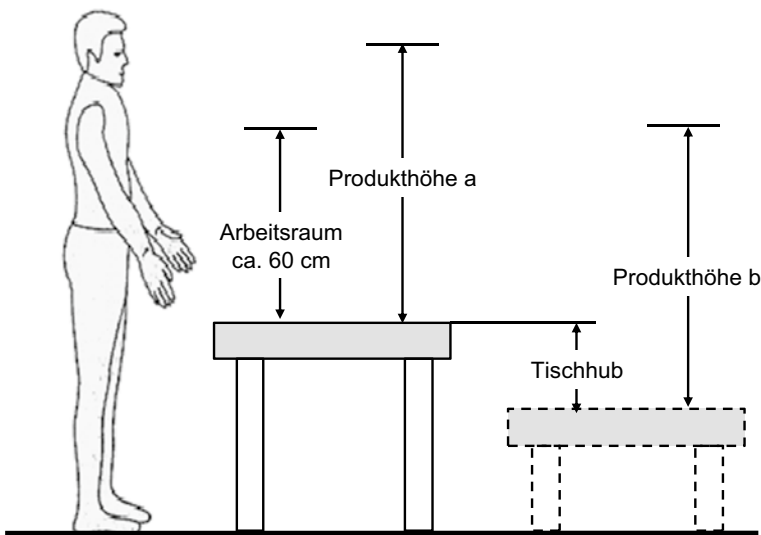
Die Bereitstellung wird mithilfe einer Höhenverstellung der Regalebenen über ein sog. Pick-to-light-System gesteuert. Ist die Bereitstellungsebene 1 in Entnahmeposition, leuchten automatisch die Lampen an den entsprechenden Greifbehältern dieser Ebene auf. Wird ein Teil entnommen, löscht dies die Lampe. Sind alle Teile aus dieser Bereitstellungsebene entnommen, sind auch alle Lampen gelöscht und die Verstellung von Ebene 2 auf die Entnahmeposition E wird automatisch durchgeführt. Ist auch Ebene 3 abgearbeitet, werden die Ebenen im Block auf ihre Ausgangsposition zurückgefahren und Ebene 1 steht wieder im optimalen Greifbereich.

#### • Aufnahme des zu montierenden Produktes

Um eine Montage in gebückter Körperhaltung zu vermeiden, muss in Abhängigkeit von den Dimensionen des Montageobjektes die Montageaufnahme in ihrer Höhe verstellbar sein. Abb. 16.11 zeigt die notwendige Verstellbarkeit der Produktaufnahme, abgestimmt auf den notwendigen Arbeitsraum.



**Abb. 16.10** Dynamisches Bereitstellungsregal (LP Montagetechnik), E Entnahmeposition, a Bereitstellungsstufe 1, b Bereitstellungsstufe 2, c1 Seitenansicht der Bereitstellungsstufe 3, c2 Vorderansicht der Bereitstellungsstufe 3



**Abb. 16.11** Höhenverstellbarer Arbeitsplatz für stehende Montagearbeit

Ein weiteres Beispiel der Arbeitsplatzgestaltung zeigt Abb. 16.12 für ein sehr schlankes, aber großes Montageobjekt. Das Objekt kann liegend und zum Teil senkrecht stehend montiert werden. Für beide Fälle ist die vertikale Position der Montageaufnahme einstellbar.

#### • Verkürzung der Handhabungswege

Grundsätzlich reduziert jeder nicht notwendige Schritt des Werkers die Montagezeit um 15 TMU, also 0,54 s. Für eine wirtschaftliche Montage muss daher jeder nicht



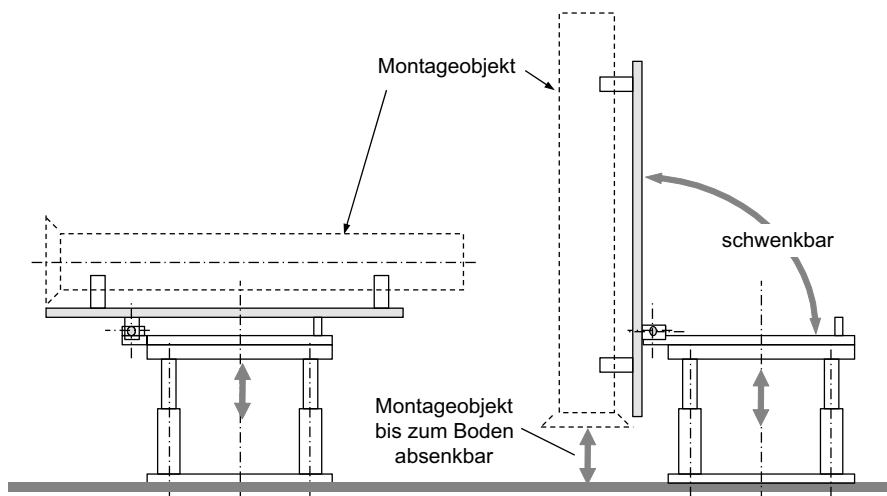


Abb. 16.12 Montageaufnahme, schwenkbar und in der Höhe verstellbar

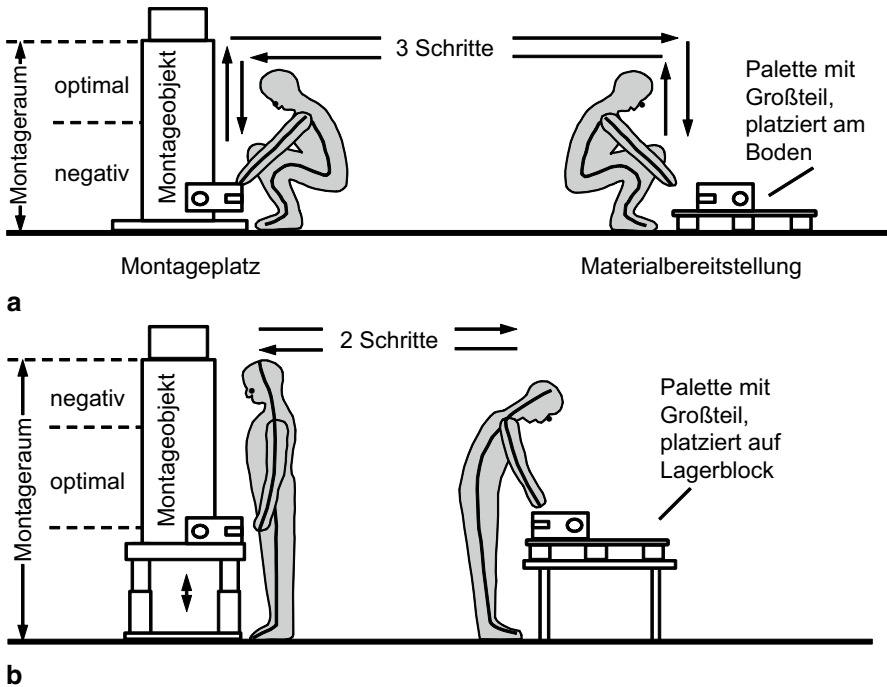
notwendige Schritt vermieden werden. Dies reduziert gleichzeitig die Belastung der Mitarbeiter. Von besonderer Bedeutung ist die Verkürzung der Handhabungswege mit großen, schweren Werkstücken.

#### • Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Ausgangsbasis: Das Beispiel-Produkt besteht, wie bereits kurz beschrieben, aus 107 Bauteilen. Das Basisteil mit einem Gewicht von 60 kg wird mit dem Hallenkran auf den Montageplatz transportiert. Dieser Vorgang ist nicht Bestandteil der folgenden Bewertung. Die 106 zu handhabenden Einzelteile teilen sich bezüglich der Handhabung wie folgt auf: Die 2 Großteile von 20 bzw. 15 kg Gewicht werden auf Paletten bereitgestellt. 23 der restlichen 106 Einzelteile werden im unteren Bereich des Materialregals bereitgestellt und benötigen daher zur Entnahme die Körperbewegungen Bücken und Aufrichten. Die restlichen 81 Einzelteile können ohne Zusatzbewegungen aus dem Regal entnommen werden. Nach Abb. 16.13a sind zwischen den Fügepositionen und dem Regal zur Teileentnahme je 3 Schritte – vor und zurück – auszuführen. 35 der 106 Teile sind im unteren Bereich des Basisteiles zu fügen und bedingen ebenfalls Bücken und Aufrichten.

Abbildung 16.13 zeigt zwei mögliche Abläufe, um eines der beiden schweren Einzelteile mit einem Gewicht von ca. 20 kg zu handhaben und im unteren Bereich des Basisteiles den Fügevorgang durchzuführen.

Abbildung 16.13a zeigt den Bewegungsablauf bei ergonomisch schlecht gestaltetem Arbeitsplatz. Nach dem Fügen eines Werkstückes im unteren Bereich des Montageobjektes muss der sich Werker zur Durchführung des nächsten Vorganges aufrichten, eine Körperdrehung und drei Schritte zur Teilebereitstellung ausführen. Um das Teil aufzunehmen, muss er sich wiederum bücken, mit dem Teil wieder aufrichten, eine Körperdrehung und drei Schritte zum Bauteil ausführen, sich bücken und dann fügen.



**Abb. 16.13** Abläufe zur Montage eines schweren Teils. **a** Ausgangssituation. **b** verbesserte Version

Abbildung 16.13b zeigt den Bewegungsablauf bei ergonomisch verbesserter Arbeitsplatzgestaltung. Hierzu wurden folgende Maßnahmen zur Vermeidung von Leistungswandlung und Verbesserung der Wirtschaftlichkeit vorgesehen:

- Paletten mit Großteilen werden nicht mehr auf dem Hallenboden, sondern auf Lagerböcken bereitgestellt. Bücken und Aufrichten entfällt.
- Kleine Teile werden in Lagerregalen mit höhenverstellbaren Ebenen zur Vermeidung von Bücken und Aufrichten bereitgestellt. Auch dadurch entfallen Bück- und Aufrichtvorgänge.
- Montageobjekte werden auf höhenverstellbaren Montageplattformen positioniert, um Fügevorgänge in gebückter Haltung zu vermeiden.
- Handhabungswege werden von drei auf zwei Schritte durch entsprechende Arbeitsplatzgestaltung verkürzt.

Beide Lösungen werden in Tab. 16.5 anhand einer MTM-Analyse gegenübergestellt. Ausgangspunkt ist die Stellung des Montagewerkers vor dem Produkt mit Blick auf das Produkt. Von da ab sind vier Bewegungsfolgen erforderlich. Um das Teil zu holen, muss der Werker sich zunächst drehen und dann 3 bzw. 2 Schritte gehen. Bei Lösung a) muss er sich dann zunächst bücken, das Teil greifen und mit der Last wieder aufrichten. Bei Lösung b) entfällt bücken und aufrichten. Das Verbringen der Last zum Montageobjekt als dritte Vorgangsfolge erfordert in beiden Fällen

**Tab. 16.5** MTM-Analyse  
der Arbeitsabläufe nach  
Abb. 16.13

Bewegungsablauf	Lösung a	Lösung b
Körperdrehung TBC2	37,2	37,2
Gehen W-P 3 Schritte	45	
Gehen W-P 2 Schritte		30
Bücken B	29	
Greifen G1C3	10,8	10,8
Aufrichten AS	31,9	
Körperdrehung	37,2	37,2
Gehen unter Last W-PL 3 Schritte	51	
Gehen unter Last W-PL 2 Schritte		34
Bücken B	29	
Fügen P3SSE	46,5	46,5
Loslassen RL	2	2
Aufrichten	31,9	
Summe [TMU]	313,5	197,7
Summe [sec]	12,65	7,12
Summe [%]	100,0	56,3

eine Körperdrehung, jedoch sind bei Lösung b) nur 2 statt 3 Schritte notwendig. Das eigentliche Fügen erfordert bei Lösung a) abschließend ein erneutes Bücken und Aufrichten, das bei Lösung b) durch den höhenverstellbaren Montagetisch entfällt. Die Summenwerte zeigen, dass für die Bewegungsfolge Lösung b) rund 44 % weniger Aufwand erfordert.

Erweitert man nun die Analyse auf das gesamte Produkt, werden gemäß Tab. 16.6 bei Lösung b) gegenüber Lösung a) folgende Vorgänge eingespart:

Bei den beiden Großteilen entfällt das Bücken, Aufrichten und ein Schritt vor und zurück. Das gleiche gilt für die 23 ungünstig angeordneten Kleinteile. Bei den restlichen 81 Kleinteilen wird angenommen, dass je 2 Teile entnommen werden, so dass insgesamt rund 80 Schritte eingespart werden. Bei 35 Teilen entfällt das Bücken und Aufrichten. Insgesamt ergibt sich eine Einsparung von rund 202 s, entsprechend 22 % bezogen auf die eingangs erwähnte Gesamtmontagezeit von 900 s.

Die Lösung b) ist dabei noch nicht als Optimum anzusehen, insbesondere was die Handhabung der Kleinteile angeht. Hierfür bieten sich beispielsweise kleine Bereitstellwagen mit Drehtellern nach Abb. 6.8 an. Auch ist eine geordnete Bereitstellung aller Teile für ein Produkt auf einem speziellen Werkstückträger nach Abb. 6.13 denkbar.

Aus wirtschaftlicher Sicht hat die Aufwandseinsparung unter der Annahme eines Personalkostensatzes von € 40,00 folgenden Effekt:

Die bisherige Leistung betrug bei 900 s pro Produkt 4 Produkte pro Stunde, das entspricht bei 230 Arbeitstagen mit je  $2 \times 7$  Std ( $= 3.220$  h) 12.880 Produkten pro Jahr. Werden nur noch  $900 - 202 = 698$  s benötigt, erhöht sich die Leistung auf  $3.600 / 698 = 5,16$  Produkte pro Stunde und es werden unter der Annahme eines konstanten Absatzes von 12.880 Produkten pro Jahr  $12.880 / 5,16 = 2.496$  Montagestunden, also 724 Stunden weniger pro Jahr benötigt. Bei dem Personalkostensatz von € 40,00 pro Stunde entspricht das einer Einsparung von  $724 \times 40 = 28.960$  € pro Jahr.

**Tab. 16.6** Montagezeiteinsparung je Produkt bei Lösung nach Abb. 16.13b gegenüber Lösung nach Abb. 16.3a

Pos.	Teile	Vorgang	davon entfallen bei Lösung b)	Anzahl der Vorgänge	Zeit je Vorgang [TMU]	Zeit je Produkt [TMU]
1	2 Großteile	von Palette aufnehmen	Bücken u. Aufrichten	2	29+31,9	121,8
2	2 Großteile	Gehen	1 Schritt vor und 1 zurück	4	15	60
3	23 Kleinteile	aus Regal entnehmen	Bücken – Aufrichten	23	29+31,9	1.400,7
4	23 Kleinteile	Gehen	1 Schritt vor und 1 zurück	46	15	690
5	81 Kleinteile	Gehen	1 Schritt mit je 2 Teilen vor und 1 zurück	80	15	1.200,0
6	35 Teile	Fügen	Bücken – Aufrichten	35	29+31,9	2.131,5
<i>Summe [TMU]</i>						5.604,0
<i>Summe [sec]</i>						201,7

Dem stehen folgende Investitionen gegenüber:

2 Lagerböcke für Paletten	€ 1.200
1 dynamisches Bereitstellregal	€ 15.000
1 höhenverstellbare Montageplattform	<u>€ 8.000</u>
Summe	€ 24.200

Die Amortisationszeit für diese Zusatzinvestition beträgt demnach  $24.200/28.960=0,84$  Jahre entsprechend 10 Monate.

### • Primär-Sekundär-Analyse

Wie in Kap. 3 ausführlich erläutert, sind Primärvorgänge alle wertschöpfenden Tätigkeiten. Sekundäraufwendungen sind zwar notwendig, aber nicht wertschöpfend. Für den hier vorliegenden Fall der Baustellenmontage wird als Primäraufwand PV das Fügen eines Teils und die dazu notwendige Teilehandhabung bis zu einem Schritt ohne zusätzliche Körperbewegungen definiert. Als Sekundäraufwand SV gelten alle zusätzlichen Bewegungen wie z. B. Bücken und Aufrichten.

Mit der Arbeitsplatzgestaltung nach Abb. 16.13a wird zur Montage eines Objektes ein Aufwand von 900 Sekunden notwendig. Der Sekundäranteil berechnet sich in diesem Fall wie folgt:

Gehen 3 Schritte: 1 Schritt PV und 2 Schritte SV	
SV: $2 \times 65 \text{ Schritte} \times 15 \text{ TMU/Schritt} = 1\,950 \text{ TMU} = 70,2 \text{ s}$	
70,2 Sekunden hin + 70,2 Sekunden zurück =	140,4 s
Bücken und Aufrichten	
SV: $25 \text{ Teile} \times 60,9 \text{ TMU/Teil} = 1\,522,5 \text{ TMU} =$	54,8 s
Fügen in gebückter Haltung und Aufrichten	
SV: $35 \text{ Teile} \times 60,9 \text{ TMU/Teil} = 2\,131,5 \text{ TMU} =$	<u>76,7 s</u>
Gesamtsekundäraufwand	271,9 s

Der Primäraufwand beträgt demnach  $900 \text{ s} - 271,9 \text{ s} = 628,1 \text{ Sekunden}$

Dann ergibt sich der Montagewirkungsgrad für diese Lösung zu:

$$W_{\text{Ma}} = \frac{628,1\text{s}}{628,1\text{s} + 271,9\text{s}} \times 100 [\%] = 69,8 \%$$

Mit den Veränderungen der Arbeitsplatzgestaltung nach Abb. 16.13b wird der gesamte Sekundäraufwand der Arbeitsplatzgestaltung nach Abb. 16.13b für Bücken und Aufrichten eliminiert. Vom Aufwand für Gehen bleibt ein Schritt pro Vorgang, da der Handhabungsweg bei diesem Lösungsvorschlag mit zwei Schritten bestimmt ist. Nach der eingangs genannten Definition ist nur ein Schritt dem Primärvorgang zuzuordnen.

Mit dem Lösungsvorschlag nach Abb. 16.13b reduziert sich die Gesamtmontagezeit pro Produkt auf 698 Sekunden. Als Sekundäranteil zählt hier nur noch der zusätzliche Schritt für die Handhabung der Einzelteile, entsprechend 65 Schritte vor und 65 Schritte zurück.

$$130 \text{ Schritte} \times 15 \text{ TMU/Schritt} = 1\,950 \text{ TMU} = 70,2 \text{ s.}$$

Der Montagewirkungsgrad der Arbeitsplatzgestaltung nach Abb. 16.13b errechnet sich dann zu:

$$W_{\text{Mb}} = \frac{628,1\text{s}}{628,1\text{s} + 70,2\text{s}} \times 100 [\%] = 90 \%$$

### • Ergonomische Bewertung

**Lösungsvariante a** Die Handhabung der schweren Teile (15 bzw. 20 kg) erfolgt von der Palette auf Hallenboden-Niveau durch tiefes Beugen bzw. weites Vorneigen des Rumpfes. Der Großteil der zu montierenden Einzelteile benötigt für das Aufnehmen aus der unteren Ebene des Regals (23 Stück) sowie das Fügen im unteren Bereich des Basisteiles (35 Stück) einen stark nach vorn gebeugten Oberkörper ( $>60^\circ$ ). Die Dauer und Intensität der Beziehung sowie die Art und Weise der Handhabung führt zu einem hohen physischen Belastungsrisiko für die Mitarbeiter. Die Ausführung dieser Arbeitsweise ist dringend zu vermeiden und Maßnahmen zur Risikobeherrschung sind notwendig.

**Lösungsvariante b** Durch die höhenverstellbare Platzierung der schweren Großteile im Arbeitsraum des Mitarbeiters wird eine Rumpfnähe von  $>20^\circ$  für das Handhaben überflüssig. Das Tragen bzw. Umsetzen der Großteile wird verkürzt, ist jedoch weiterhin Bestandteil der Arbeitsaufgabe. Die Aufnahme aller Einzelteile erfolgt durch den Einsatz der dynamischen Bereitstellungsregale, ebenfalls ohne Rumpfnähe  $>20^\circ$ . Das Fügen aller Teile wird von dem Mitarbeiter durch die schwenk- und höhenverstellbare Montageaufnahme in aufrechter Körperhaltung ausgeführt. Die gestalterische Anpassung der Lösungsvariante b führt zu einer ergonomischen Bewertung ohne physisches Belastungsrisiko bzw. ohne dass weitere Maßnahmen notwendig sind.

Die Ergebnisse der ergonomischen Bewertung der Montagesysteme für die großen Produkte sind in Tab. 16.7 zusammengestellt.

**Tab. 16.7** Ergebnisse der ergonomischen Bewertung (große Produkte)

	Lösung a		Lösung b	
	Frauen	Männer	Frauen	Männer
50. Perzentil	Frauen	Männer	Frauen	Männer
Punktwert der Analyse	66	62	18	14
Mögliches Risiko	hoch	hoch	nein	nein
Empfehlung	nein	nein	ja	ja
Maßnahmen erforderlich	dringend	dringend	nein	nein
Einstufung nach DIN EN 614–1	rot	rot	grün	grün

Ähnlich wie bei den Kleinteilen wird auch hier deutlich, dass eine Montage mit einem hohen Montagewirkungsgrad unter Primär-Sekundär-Gesichtspunkten sowohl monetär als auch ergonomisch vorteilhaft ist.

## 16.6 Fazit

Grundsätzlich haben die Beispiele gezeigt, dass ein Zusammenhang zwischen ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung und Wirtschaftlichkeit besteht. Ergonomisch richtig gestaltete Arbeitsplätze sind wirtschaftlicher als Arbeitsplätze, die ergonomischen Ansprüchen nicht gerecht werden.

Ein Schwerpunkt aus ergonomischer und wirtschaftlicher Sicht ist dabei die Gestaltung der Materialbereitstellung und der notwendigen Werkzeuge. Große Greifwege bei der Kleingerätemontage und große Handhabungswege bei der Montage großer Geräte – zum Teil unter Gewichtsbelastung mit Körperbewegungen wie Bücken und Aufrichten – sind Ursache frühzeitiger Ermüdung und Leistungswandlung.

Die klassische Bewertung einer Arbeitsplatzgestaltung durch REFA, MTM usw., die nur auf die Vorgabe einer zu erfüllenden Stundenleistung bezogen ist, genügt nicht den Ansprüchen der Leistungserhaltung der Mitarbeiter. Erst die Berücksichtigung und Quantifizierung der Greifwege, Handhabungswege, Handhabungsgewichte und Körperbewegungen wie Bücken, Aufrichten usw. – über eine volle Schicht – noch besser über ein Jahr, gibt Auskunft über die mögliche Nachhaltigkeit der Leistung und damit die Gefahr einer Leistungswandlung.

Was durch Reduzierung der Greifwege, der Handhabungswege und der Körperbewegungen erreicht wird, dient auch der Reduzierung der Montagezeiten. Es wird also die Stückleistung erhöht, der Handhabungsaufwand reduziert und mehr Stückleistung erzielt und das bei geringerer Belastung der Montagemitarbeiter/innen.

Als praktikables Bewertungsinstrument für Montageplanungen eignet sich die Primär-Sekundär-Analyse. Primärvorgänge sind wertschöpfend, Sekundärvorgänge ohne Wertschöpfung. Die Definition von Primär- und Sekundärvorgängen ist bei der Kleingeräte- und der Großgerätemontage unterschiedlich. Sie wird in Kap. 3 ausführlich erläutert und an den beiden Beispielen dieses Kapitels angewandt. Der mit dieser Methode ermittelte Montagewirkungsgrad gibt nicht nur Auskunft über

die Wirtschaftlichkeit, sondern auch über den Grad der ergonomischen Gestaltung. Wie aus den gezeigten Beispielen und den Erfahrungen aus zahlreichen anderen Projekten hervorgeht, liegt der Montagewirkungsgrad bei ergonomisch schlechter Gestaltung zwischen 70 bis 75 %, bei ergonomisch guter bis sehr guter Gestaltung bei 85 bis 90 %. Arbeitsplätze mit Wirkungsgraden unter 80 % sind auf Dauer nicht wettbewerbsfähig.

Die höheren Investitionskosten ergonomisch richtig gestalteter Arbeitsplätze amortisieren sich in der Regel unterhalb eines Jahres.

Dem demografischen Wandel durch ergonomische, altersneutrale Arbeitsplatzgestaltung gerecht zu werden, ist eine soziale und wirtschaftliche Herausforderung zur Sicherung des Produktionsstandortes Deutschland.

## Literatur

- BKV (1997) Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), BGBl. I S. 2623, 31.10.1997
- Bongwald, O.; Luttmann, A.; Laurig, W. (1995): Leitfaden für die Beurteilung von Hebe- und Tragetätigkeiten; Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin.
- DIN 33402-2 (2005): Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte; Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 33411-5 (1999): Körperkräfte des Menschen – Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte; Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN 614-1 (2006): Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze; Beuth Verlag, Berlin.
- Ellegast, R (2005): Verfahren zur Bewertung manueller Lastenhandhabungen. In: BGIA-Report 4/2005: Fachgespräche Ergonomie, S. 21–38.
- Gerst D, Hattesoht S, Plettke M (2007): Wie leistungsfähig sind ältere Arbeitnehmer? In: Unimagazin Hannover. Schwerpunktheft Demographischer Wandel. Forschung für eine zukunftsfähige Gesellschaft, Heft 3/4, S. 24–26,
- Grandjean E (1991): Physiologische Arbeitsgestaltung. Leitfaden der Ergonomie; 4. Auflage, Ott Verlag Thun.
- Kugler M, Bierwirth M, Schaub K, Sinn-Behrendt A, Feith A, Ghezel-Ahmadi K, Bruder R (2010): Ergonomie in der Industrie – aber wie? Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements. Darmstadt.
- Lotter B (1992): Wirtschaftliche Montage; 2. Auflage, VDI Verlag, Düsseldorf.
- Lotter B, Schilling W (1994): Manuelle Montage; VDI Verlag, Düsseldorf.
- Lotter B, Spath D, Baumgartner P (2002): Primär-Sekundär-Analyse; Expert Verlag, Renningen.
- Lotter B, Hartung J (2012): Altersneutrale und wirtschaftliche Gestaltung von Montagearbeitsplätzen contra Leistungswandel. Betriebspraxis und Arbeitsforschung, Ausgabe 212, 2012, S. 36–47.
- Luczak H, Bregas (2009) Ermüdung und Erholung. In: Landau K, Pressel G (Hrsg.) (2009): Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen; 2. Auflage, Gentner Verlag Stuttgart, S. 311–317.
- Schaub K (2004): Das „Automotive Assembly Worksheet“ (AAWS). In Landau K (Hrsg.): Montageprozesse gestalten: Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation; Ergonomia Verlag, Stuttgart.

Montage in der industriellen Produktion

Ein Handbuch für die Praxis

Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.)

2012, XII, 501 S. 350 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-29060-2