



Leseprobe

Bernd Klein

Kostenoptimiertes Produkt- und Prozessdesign

ISBN: 978-3-446-42131-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42131-8>

sowie im Buchhandel.

$$MZ_i \approx 0,0057 \cdot G_i + 0,005 \cdot G_i \cdot HZ_i \quad [\text{s}]. \quad (7.3)$$

Voraussetzung für die Zeitaufnahme waren: relativ einfache Teile, keine Orientierungsschwierigkeit und kurze Wege. Die Beziehung kann in etwa auf Teile mit  $G_i \approx \text{max. } 8 \text{ kg}$  angewandt werden.

Eine Zwei-Hand-Montage ist gewöhnlich erforderlich, wenn

- das Teil schwerer als 8 kg ist,
  - das Teil sehr präzise gehandelt werden muss,
  - das Teil sehr groß oder flexibel ist
- oder
- das Teil nicht eindeutig greifbar ist.

In den aufgeführten Fällen wird dann die Handlingszeit größer, weshalb der vorherige Zahlwert für  $MZ_i$  mit 1,5 zu multiplizieren ist.

### 7.3 Montageanalyse

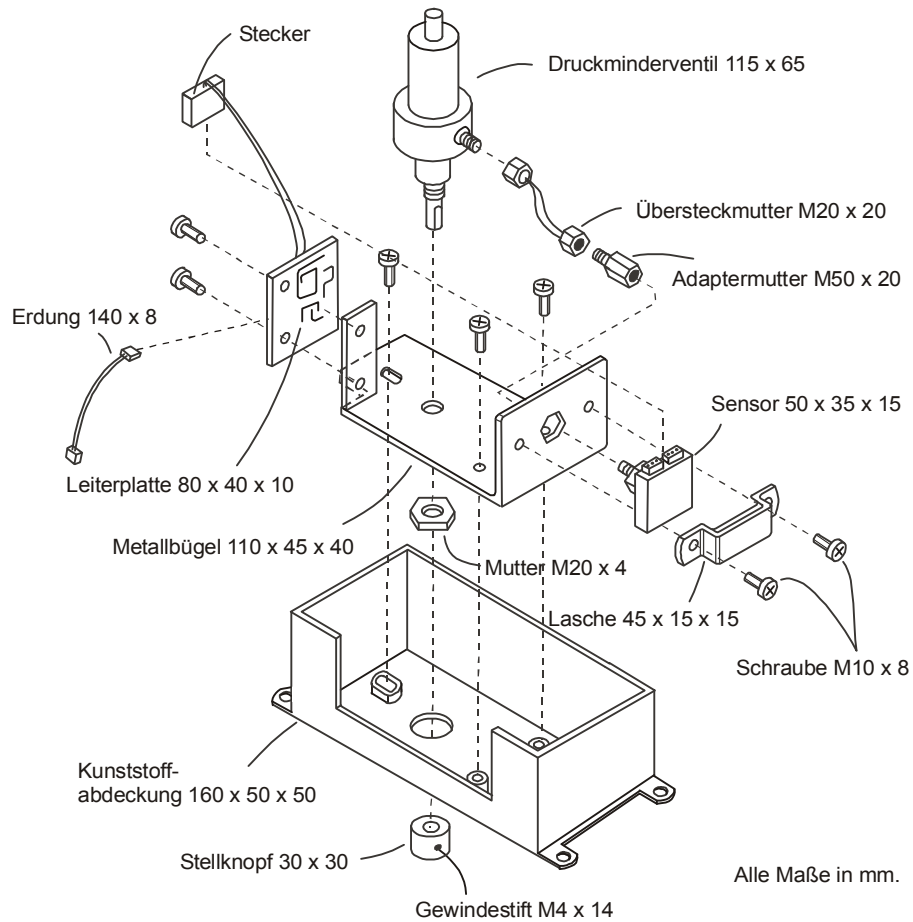
Als Ergänzung zu den vorstehenden Darlegungen soll nachfolgend an einem Beispiel die Vorgehensweise der PDA-Analyse dargestellt werden. Bemühung soll es zunächst sein, eine ausgeführte Konstruktion hinsichtlich der Montagezeit zu analysieren. In dieser Analyse soll die notwendige Werkzeugzeit, Handlingszeit und Fügezeit bestimmt werden, um die Kostenschwerpunkte zu erkennen. Diese Technik eignet sich auch sehr gut zum Benchmarking von Wettbewerbsprodukten, um über den absolut notwendigen Aufwand zu einer verbesserten Lösung mit geringerer Komplexität zu finden.

Als Demonstrationsbeispiel soll hier ein Druckregler (siehe umseitiges Bild 7–8) gewählt werden, der seit vielen Jahren von einer Firma in Großserie hergestellt wird. Infolge Wettbewerbsdruck soll dieser von seinem Aufbau her vereinfacht werden.

Unter Nutzung der PDA-Methode kann tatsächlich eine verbesserte Ausführung mit 72 % weniger Teilen konzipiert werden. Wenn man sich nun in den Aufbau des Druckreglers hineindenkt, wird die Montage recht schnell transparent.

Das Basis- bzw. Trägerteil ist der so genannte Metallbügel, der als Aufnahme für alle Anbauten dient. Wesentliche Anbauelemente sind das Druckminderventil, der Sensor und die Leiterplatte. Als NAV-Element ist die Rohrverbindung mit den Tätigkeiten der Überbrückung und Befestigung anzusehen. Ansonsten fallen noch weitere Verbindungen von Teilen mittels Schrauben an. Insgesamt ist festzustellen, dass man es mit einer exemplarisch ungünstigen Konstruktion aus 21 Teilen zu tun hat.

Die umseitige Explosionszeichnung lässt schon vermuten, dass ein erhebliches Vereinfachungspotenzial vorhanden ist.



**Bild 7–8:** Montagezeichnung der bisherigen Serienausführung des Druckreglers nach [1]

Zum Kern der PDA-Analyse gehört die Erfassung der Montagezeit. Diese wird über alle  $N_i$ -Teile wie folgt gebildet:

$$MZ_i = WAZ_i + N_i \cdot (HZ_i + FZ_i) + (NOZ_i). \quad (7.4)$$

Hierin bezeichnet:

- $WAZ_i$  = Werkzeugakquisitionszeit
- $HZ_i$  = Handlingszeit
- $FZ_i$  = Fügezeit
- $N_i$  = Anzahl der zu montierenden Teile
- $NOZ_i$  = Zeitanteil für Neuorientierung

Jede Operation und jeder Prozess mit Teilen kann somit näherungsweise abgeschätzt werden. Eine übertriebene Genauigkeit ist bei den Zeitansätzen jedoch nicht nötig.

Nr.	Teile/ Prozesse	Anz. N	WAZ <sub>i</sub>	Hand- habungs- code	HZ <sub>i</sub>	Füge- code	FZ <sub>i</sub>	MZ <sub>i</sub>	LFD- Ideal	MT
1	<b>Metallbügel</b>	1	-	30	2,0	00	1,5	3,5	-	1
2	Druck- minderventil	1	-	30	2,0	00	1,5	3,5	-	1
3	<i>Neuorien- tierung</i>	-	-	-	-	610	-	4,5	-	-
4	Mutter	1	3,0	00	1,1	39	8,0	12,1	NNN	0
5	Sensor	1	-	30	2,0	01	2,5	4,5	NJJ	1
<b>6</b>	<b>Lasche</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>20</b>	<b>1,8</b>	<b>06</b>	<b>5,5</b>	<b>7,3</b>	<b>NNN</b>	<b>0</b>
7	Schraube	2	3,0	11	1,8	62	5,7	18,0	-	0
8	Adapter- mutter	1	3,0	00	1,1	38	6,0	10,1	NNN	0
9	Rohr	1	-	10	1,5	09	7,5	9,0	NNN	0
10	Übersteck- mutter	2	3,0	-	-	38	6,0	15,0	-	0
11	Leiterplatte	1	-	30	2,0	00	1,5	3,5	-	1
12	Schraube	2	3,0	11	1,8	62	5,7	18,0	NNN	0
13	Erdung	1	-	30	2,0	30	2,0	4,0	-	0
14	<i>Neuorien- tierung</i>	-	-	-	-	610	-	4,5	-	-
15	Stellknopf	1	-	00	1,1	01	2,5	3,6	NNJ	1
16	Gewindestift	1	3,0	12	2,2 5	38	6,0	11,25	NNN	0
17	Abdeckung	1	-	30	2,0	00	1,5	3,5	NNN	0
18	<i>Neuorien- tierung</i>	-	-	-	-	610	-	4,5		-
19	Schraube	3	3,0	11	1,8	39	8,0	32,4	NNN	0
		21	21,0					172,75		5

**Bild 7-9:** Montageplan und Zeitkalkulation<sup>\*)</sup> der Serienausführung des Druckreglers nach [1]

<sup>\*)</sup> Bei PDA-Design-Analysen wird die Teileakquisition normalerweise nicht betrachtet (siehe Kapitel 7.6); die Werkzeugakquisition (Schraubendreher, Schraubenschlüssel etc.) wird hingegen berücksichtigt.

Zum vorstehenden Druckregler gibt Bild 7–9 den Montageablauf wieder, in dem alle Teile nach der Montagereihenfolge aufgelistet sind. Um jetzt die Teile richtig montieren zu können, müssen sie „gehandhabt“ und „gefügt“ werden und dies gegebenenfalls mit einfachem „Werkzeugeinsatz“.

Um den hierfür erforderlichen Zeitaufwand abschätzen zu können, wurden in den USA Bewegungsstudien mit Standardgeometrien gemacht und die beschreibenden Teilemerkmale klassifiziert. Das Ergebnis sind Kalkulationstabellen für die konventionelle Handmontage (siehe Anhang Kap. 19). Deshalb auch wieder der Hinweis: Es sind *Durchschnittswerte* erfasst. Diese geben nicht die Zeiten für ein spezielles Teil in einer speziellen Situation wieder. Nach MTM-Vergleich können die Tabellenwerte jedoch gut als „Daumenwerte“ herangezogen werden, um Kostenschätzungen zu machen oder Varianten zu bewerten. In der relativen Bewertung von Alternativen liegen auch die eigentlichen Stärken dieser Zeitkalkulationstabellen.

Die Grundplatte und das Druckminderventil sind wahrscheinlich notwendig, während die anderen Teile disponibel sind. Am Beispiel der „Lasche“ soll der Leitfragentialog exemplarisch durchgeführt werden.

Teil: Lasche<sup>\*)</sup> Anzahl:  $N_6 = 1$

Handhabungscode:

Das Teil liegt ungeordnet als Schüttgut mit zufälliger Ausrichtung vor. Die Fügeachse ist horizontal, d. h., die Lasche kann nur auf eine Art entlang dieser Achse gefügt werden → ALPHA-Symmetry = 360° und BETA-Symmetry = 180°. Damit ergibt sich die Summe des Orientierungswinkels zu 540°.

Weiterhin kann die Lasche mit *einer Hand gehandhabt* werden, es wird kein Werkzeug benötigt. Es liegt auch keine Teilverschachtelung oder Verwicklung während des Greifens vor → maßgebend ist somit **Tabelle A2** im Anhang.

Die Maße des Umhüllungskörpers sind 50 x 20 x 16, insofern ergibt sich als

Handhabungscode 20 → 1,8 s

Fügecode: Das Teil wird gefügt, ist aber nicht selbst gesichert. Es ist nicht leicht auszurichten. Hände können den Ort leicht erreichen. Die Befestigung erfolgt mit Schrauben. Damit ergibt sich nach **Tabelle A6**

Fügecode 06 → 5,5 s.

Montagezeit: Die Addition aus Handhabung und Fügung ergibt die Montagezeit

---

<sup>\*)</sup> Man kann die „Lasche“ auch direkt als Befestigungselement einordnen, VKD → JA, d. h. soll entfallen!

$$MZ_6 = N_6 \cdot (HZ_6 + FZ_6) = 7,3 \text{ s} . \quad (7.5)$$

Damit ist die Montage der Lasche in Zeiteinheiten bestimmt, bzw. eine weitere Quantifizierung in Geld ist natürlich auch über die Beziehung

$$MK_6 = L_M \cdot MZ_6 = \frac{65 \text{ EU/h}}{3.600 \text{ s}} \cdot 7,3 \text{ s} \approx 0,13 \text{ EU} \quad (7.6)$$

(mit  $L_M \approx 65 \text{ Euro/h}$  als Lohnansatz mit allen Nebenkosten)

möglich. Es ist im Weiteren einsichtig, dass die Montage aller Teile so bewertet werden kann.

Minimale  
Teilezahl:

Das Ziel der PDA-Analyse besteht aber darin, die minimal erforderliche Teilezahl zu finden. Zuvor wurde im Kap. 6.1 dargestellt, dass jedes Teil (außer Basisteil) infrage gestellt werden muss. Hierzu sind die so genannten *PDA-Leitfragen* auf jedes Teil anzuwenden. Beispielsweise auf die „Lasche“.

1. Die Lasche braucht sich *nicht relativ* zu dem Metallbügel (direkte funktionale Beziehung) *bewegen*, d. h., die Laschenfunktion könnte kompensiert werden.
2. Die Lasche muss *nicht aus einem anderen Material sein*, d. h., sie könnte funktionell in den Metallbügel integriert werden. (Hinweis: Wenn die Integration der Befestigungsfunktion in den Sensor möglich wäre, sollte sie theoretisch ebenfalls in Betracht gezogen werden, vielleicht sind Änderungen am Sensor möglich.)
3. Die Lasche muss *nicht* unbedingt vom Metallbügel oder gegebenenfalls Sensor *getrennt sein*. Eine Funktionsintegration würde keine Nachteile für den Sensor bedeuten.

Resümee: 3-mal NEIN! Das heißt, die „Lasche“ ist ein Kandidat zur möglichen Elimination. In einem anderen Fokus würde es als Befestigungselement auch entfallen.

Nach Anwendung der Leitfragen auf alle 21 Teile wird man feststellen, dass eigentlich nur 5 Teile unbedingt Design-notwendig sind.

Design-  
Effizienz:

Der Abschluss der PDA-Analyse bildet die Feststellung der Design-Effizienz durch den PDA-Index. Dieser hat für die vorliegende konstruktive Ausführung den Wert

$$DIA = \frac{5 \cdot 3}{172,75} \cdot 100 \approx 8,7 \%, \quad (7.7)$$

woraus rückgeschlossen werden kann, dass eine im Sinn der Montage sehr ungünstige Konstruktion vorliegt.

**Kostentreiber:** Die im Bild 7–9 zusammengetragenen Montagezeiten ermöglichen jetzt auch eine Identifizierung der Kostentreiber. Gemäß der folgenden Auflistung werden alle Montagen mit in ihrer Summe zweistelligen Zeiten weiter analysiert. Die fett markierten Zeiten sollten auf alle Fälle reduziert werden.

Nr.	Teile bzw. Prozesse	Montagezeiten [MZ <sub>i</sub> ]	Gew.	Maßnahmen
1	4	<b>12,1 s</b>	4,9 %	Befestigungsalternative suchen
2	6 + 7	7,3 + 18,0 = <b>25,3 s</b>	14,6 %	Lasche mit Schrauben sollte eliminiert werden
3	8	<b>10,1 s</b>	5,8 %	Muss es eine Adaptermutter geben? Zusammen mit Maßnahme 2 überdenken.
4	9 + 10	9,0 + 15,0 = <b>24,0 s</b>	13,9 %	Rohr sollte entfallen
5	11 + 12	3,5 + <b>18,0 = 21,5 s</b>	12,5 %	Für die Befestigung der Leiterplatte muss eine andere Lösung gefunden werden.
6	15 + 16	3,6 + <b>11,25 = 14,85 s</b>	8,6 %	Gewindestift sollte entfallen
7	17 + 18 + 19	3,5 + 4,5 + <b>32,4 = 40,4 s</b>	23,4 %	Befestigung der Abdeckung mit 3 Schrauben ist äußerst ungünstig.
		Potenzial = Σ 148,25 s ≙ 85,8 %		

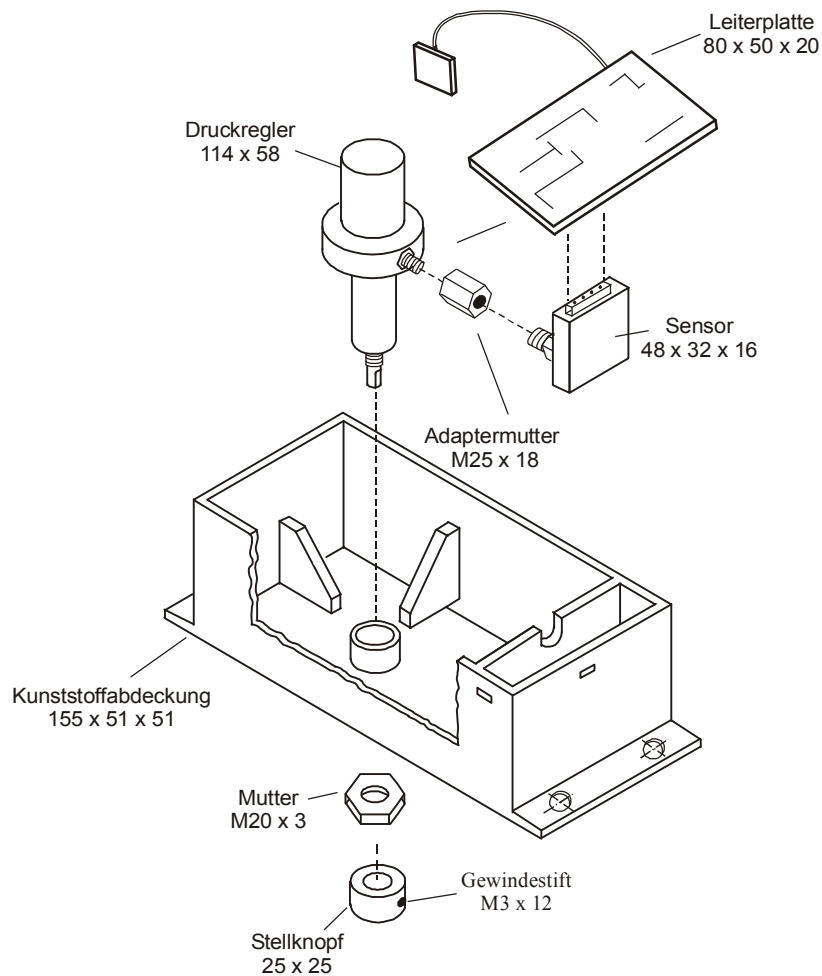
**Bild 7–10:** Festmachen der Kostentreiber

Bei den meisten Designanalysen wird man feststellen, dass vielfach noch Potenzial in der Handhabung und bei speziellen Fügeprozessen (Vernieten, Verschrauben, Verschweißen) besteht. Für die Handhabung kann beispielsweise ein Schwellenwert von 1,6 Sekunden (theoretischer Mindestwert = 1,1 s) und für das Fügen von 2,5 Sekunden (theoretischer Mindestwert = 1,5 s) eingeführt werden. Darüber müssen die Teile besser angepasst werden.

## 7.4 Montageoptimierung

Die vorhergehende PDA-Analyse hat gezeigt, dass die vorliegende Serienkonstruktion des Druckreglers eindeutig zu aufwändig ist. Von den verwandten 21 Teilen werden eigentlich nur 5 Teile als notwendig angesehen. Insofern besteht die Aufgabe, ein funktionsidentisches Konzept als Ideal mit der theoretisch minimalen Teilezahl und eliminierten NAV-Prozessen zu kreieren. Im vorliegenden

Fall war dies nicht möglich. Eine praktikable neue Lösung mit hohem Integrationsgrad zeigt Bild 7–11, obwohl hier noch 8 Teile verwandt werden.



**Bild 7–11:** Optimierte Version des Druckreglers nach [1]

Eine Besonderheit des Konzeptes ist, dass das alte Basisteil (Metallbügel) entfallen ist und die Abdeckung nunmehr die Stütz- und Verkleidungsfunktion übernimmt.

Auch diese neue Lösung gilt es wieder hinsichtlich der Montagezeiten zu analysieren. Die zugehörigen Werte zeigt umseitiges Bild 7–12.



Nr.	Teile/Prozesse	Anz. N	WAZ <sub>i</sub>	Handhabungscode	HZ <sub>i</sub>	Fügecode	FZ <sub>i</sub>	MZ <sub>i</sub>	Min. Teile Anz.	
1	Abdeckung	1	-	30	2,0	00	1,5	3,5	1	
2	Druckminder-ventil	1	-	30	2,0	00	1,5	3,5	1	
3	Mutter	1	3,0	00	1,1	39	8,0	12,1	0	
4	Stellknopf	1	-	00	1,1	01	2,5	3,6	1	
5	Gewindestift	1	3,0	12	2,25	38	6,0	11,25	-	
6	Neuorientierung	-	-	-	-	610	-	4,50	-	
7	Adaptermutter	1	3,0	00	1,1	38	6,0	10,1	0	
8	Sensor	1	-	30	2,0	01	2,5	4,5	1	
9	Leiterplatte	1	-	30	2,0	00	1,5	3,5	1	
		8						56,55	5	Total

**Bild 7-12:** Montageplan und Zeitkalkulation des optimierten Druckreglers aus 8 Teilen nach [1]

Das Resümee ist, dass mit dieser Lösung 13 Teile (= 52 %) eingespart werden und 65 % weniger Montagezeit notwendig ist. Für die Design-Effizienz kann

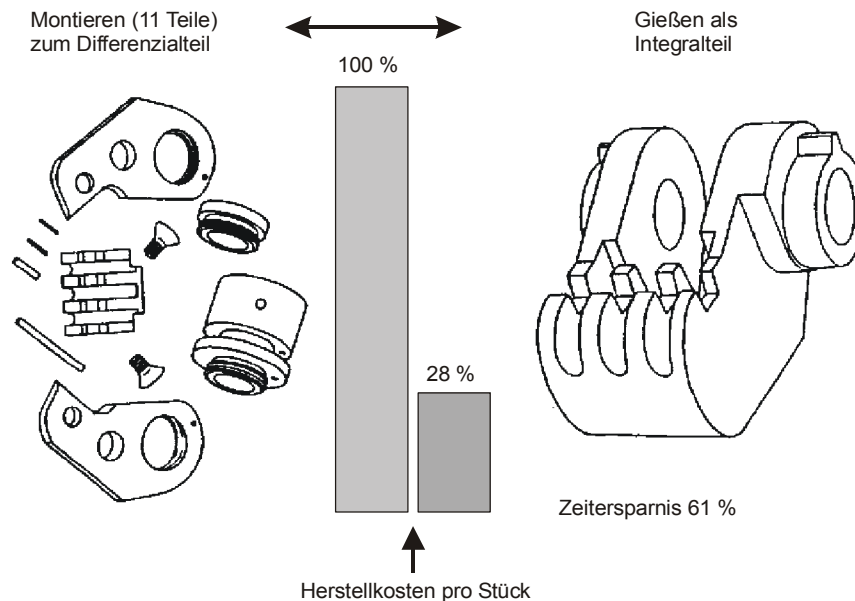
$$DIA = \frac{5 \cdot 3}{56,55} \cdot 100 = 26,5\% \quad (7.8)$$

ermittelt werden, welches einen insgesamt schon recht guten Entwurf charakterisiert.

Neben diesen direkten Vorteilen wird durch die Teilezahlreduktion auch noch ein indirektes Potenzial mobilisiert. Jedes Teil, das nicht benötigt wird, braucht nicht dokumentiert, bestellt, gelagert (und als Ersatzteil bevorratet) sowie als Teilstammsatz in der EDV verwaltet werden. Erfahrungsgemäß ist hiermit eine Kostenersparnis von 1.000-2.000 € je Teil über die Lebensdauer verbunden, die dem PDA-Aufwand auch gegengerechnet werden müssen.

## 7.5 Optimierungsprinzipien

Die Herstell- und Montagekosten eines Produktes werden maßgeblich durch die Baustruktur (Teilegröße, Teilezahl, Verschachtelung, Zugänglichkeit) bestimmt. Zielsetzung sollte es immer sein, eine *möglichst wenig komplexe*, d. h. montage- bzw. demontagefreundliche Baustruktur zu realisieren. Niedrige Montagekosten haben gewöhnlich „Integralkonstruktionen“ im Sinne von „Einstückigkeit“. Meist sind hiermit jedoch höhere Investments (Werkzeuge, Vorrichtungen, Maschinen) verbunden, weshalb hohe Stückzahlen zur Amortisation notwendig sind.



**Bild 7–13:** Gegenüberstellung von Differenzial- und Integralbauweise am Beispiel einer Steuerkurve für eine Verpackungsmaschine

Im Gegensatz hierzu steht die „Differenzialbauweise“, welche eine Addition von Einzelteilen darstellt. Obwohl die Einzelteile regelmäßig kostengünstiger gefertigt werden können, geht der Kostenvorteil meistens wieder durch einen erhöhten Passungs- und Verbindungsaufwand verloren. Insofern überwiegen also die Montagekosten gegenüber den reinen Fertigungskosten.

Ein Kompromiss zwischen Montage und Demontage bzw. Servicefreundlichkeit stellt somit die integrierende Bauweise dar, bei der bewusste Schnittstellen zum Austausch von Verschleißteilen oder zur Durchführung von Reparaturen vorgesehen sind. Bei PDA-Optimierungen sollte man daher das Schnittstellenproblem im Spiegelbild der gesamten Herstell- und Servicekosten bewusst bewerten.

## 7.6 Montage und Montageorganisation

Die Basisannahme von PDA ist die Handmontage nach dem Werkbankprinzip, bei der ein Teil<sup>7)</sup> nach dem anderen montiert wird. Dem liegt eine handwerkliche

<sup>7)</sup> Können zwei Teile gleichzeitig montiert werden, so reduziert sich die gesamte Montagezeit um etwa ein Drittel, dies lässt sich berücksichtigen, indem die tabellierte Montagezeit durch 1,5 dividiert wird. Hierdurch ändert sich aber nicht die Designbewertung, da im DIA auch die Basismontagezeit im gleichen Verhältnis angepasst werden muss.

Arbeitsorganisation mit einfachen Vorrichtungen und Werkzeugen zugrunde. Annahmen sind weiter:

- Der Teilevorrat<sup>\*)</sup> liegt ungeordnet (als Schüttgut) in einem ca. 50 cm entfernten Greifbereich.
- Die Werkzeuge<sup>\*\*)</sup> sind in ca. 35-40 cm erreichbar.

und

- Das Restbringen zur Fügestelle ist weniger als 30 cm.

Dies setzt eine bestimmte Ordnung am Montagearbeitsplatzes voraus, was bei großen, sperrigen Teilen jedoch eine Anpassung erforderlich macht. Bei großen, sperrigen Teilen ist zusätzlich noch eine örtliche Distanz vom Speicher zur Verbaustation zu überwinden, welches durch eine Teilakquisitionszeit ( $TAZ_i$ ) berücksichtigt wird. Diese geht dann noch additiv in die Gesamtmontagezeit ( $GMZ_i$ ) ein:

$$GMZ_i = MZ_i + N_i \cdot TAZ_i . \quad (7.9)$$

Richtwerte für die Teileakquisition finden sich im folgenden Bild 7–14 und im Anhang Tabelle A12.

Für eine Montage sind dies nur proportionale Zeitanteile, die einen *schwachen* Bezug zum Design (Gewicht und Teilegröße) haben, jedoch eine stärkere Forderung für eine gute Organisation des Montagearbeitsplatzes abgeben. Seitens der Produktgestaltung bestehen insofern nur geringe Einflussmöglichkeiten. Sollte bei einem Montageablauf aber ein großer Zeitanteil auf die Akquisition von Teilen und Werkzeugen entfallen, so muss gegebenenfalls das Produktdesign verbessert werden. Anstatt Einstückigkeit kann dies eine bewusste Zerlegung in handlichere Komponenten erforderlich machen.

Ein typisches Beispiel hierfür geben Lkw-Hinterachsen ab, die vorher als durchgehende Gussachsbrücken hergestellt wurden, die sich innerbetrieblich aber nur mit Staplern oder Krananlagen transportieren ließen. Moderne Achsen sind hingegen als Schweißkonstruktion in Patchwork-Technik (2 Achsschenkel, 2 Achsrohre und 1 Differenzial) aufgebaut, welche teilweise ein Handtransport ermöglicht bzw. eine Unterstützung durch einfache Lasthebemittel möglich machen.

---

<sup>\*)</sup> Falls Teile nicht als Schüttgut vorliegen, also geordnet magaziniert sind oder in speziellen Behältern vorliegen, ergeben sich niedrigere Handlungszeiten als in den Standardzeittabellen. Dies kann mit Faktoren berücksichtigt werden oder muss in Grenzfällen real ermittelt werden.

<sup>\*\*)</sup> Die Standardfügezeiten mit Hilfswerkzeugen beinhalten: das Werkzeug greifen, damit die Operation durchführen und anschließend das Werkzeug wieder zurücklegen.

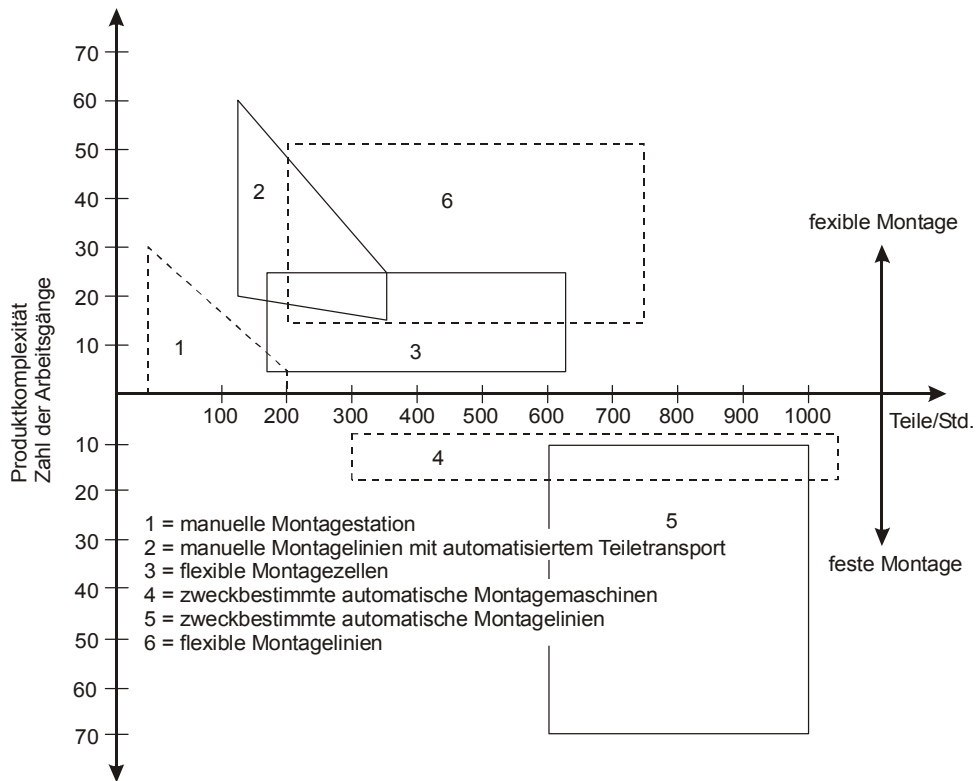
durchschnittliche Distanz zum Einbauort (mm)		größte Länge des Teils (mm)		Code	ein Teil (groß oder klein) oder mehrere Kleinteile				kleine Teile – ungeordnet gespeichert	
					Gewicht < 8 kg		Gewicht > 8 kg		leicht zu greifen	schwer zu greifen
					leicht zu greifen	schwer zu greifen	zwei Personen	Hebehilfe		
0	1	2	3	4	5					
< 1.200	< 380	0	2,50	4,50	8,80	18,40	0,85	1,10		
1.201 bis 2.100	380 bis 640	1	4,30	6,30	14,30	27,10	0,85	1,10		
2.101 bis 3.050	641 bis 890	2	5,50	7,50	18,50	31,20	0,85	1,10		
3.051 bis 4.000	891 bis 1.300	3	9,90	11,90	32,80	39,50	0,85	1,10		
4.001 bis 4.900	1.301 bis 1.650	4	11,60	13,60	36,80	44,90	0,85	1,10		
> 4.901	> 1.651	5	12,40	14,40	40,80	50,00	0,85	1,10		

- Bemerkung:
1. Für große Teile sind keine Eigenschaften vorgesehen, die ein leichtes Greifen oder Transport ermöglichen.
  2. Kleine Teile (die schlüpfrig, verschachtelt, verworren oder verklebt sind und eine sorgfältige Behandlung erfordern) sind schwer zu greifen.
  3. Distanz und Teilegröße sind alternativ; Distanz hat Vorrang vor Teilegröße

**Bild 7–14:** Akquisitionszeiten (sec.) für Teile, welche nicht innerhalb der Reichweite der Werker gelagert sind nach Angabe von [1]

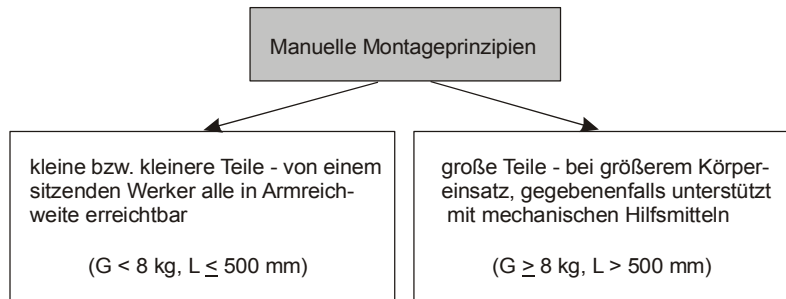
Im umseitigen Bild 7–15 sind einige Tendenzen zu Montageprinzipien angegeben. Gewöhnlich wird eine Handmontage bei Modulen zwischen 2-10 Teilen (eventuell 15) und einem Produktionsvolumen um 10.000 Module/Jahr zur Anwendung kommen. Bei sehr großem Produktvolumina mit 1 Mio. Modulen oder mehr und sehr vielen Teilen (> 20) wird man meist einen Montageautomaten heranziehen. Dazwischen sind Roboter montagen geläufig, wobei frei programmierbare Industrieroboter zur Anwendung kommen.

Während die automatische Montage typisch ist für den Kfz-Bau unter Großserienbedingungen, ist die Handmontage typisch für den Maschinenbau. Merkmale einer Handmontage sind einfache Vorrichtungen und Werkzeuge, geringe Investitionen, aber weitestgehend konstante Kosten (keine Stückzahldegression) selbst bei großem Teilevolumen, große Flexibilität und Anpassbarkeit an Teilegeometrie, jedoch hohe Belastung des Werkers.



**Bild 7-15:** Stückzahlabhängigkeit des Montageverfahrens

Leichte Teile ( $1 \text{ kg} \leq G < 8 \text{ kg}$ ) können meist sitzend montiert werden, während schwere Teile ( $G \geq 8 \text{ kg}$ ) nur stehend montiert werden können. Weitere Hinweise und Details zur Arbeitsplatzorganisation dazu findet man in der REFA-Literatur (z. B. [3]), bei der die zeitwirtschaftlichen Aspekte einen hohen Stellenwert haben.



**Bild 7-16:** Grenzen der manuellen Montage bzw. Handmontage nach [4]