## Hybride Montage mit Robotereinsatz für satzweisen Montageablauf

## 1 Einleitung

Globalisierung und demografischer Wandel bedeuten für die industrielle Produktion und im Besonderen für die industrielle Montage große zu bewältigende Veränderungen. Aus Abb. 1 geht die Zuordnung der Montage in starre/automatische und flexible/manuelle Montagetechnik unter Berücksichtigung der Produktkomplexität und der geforderten Leistung pro Stunde hervor.

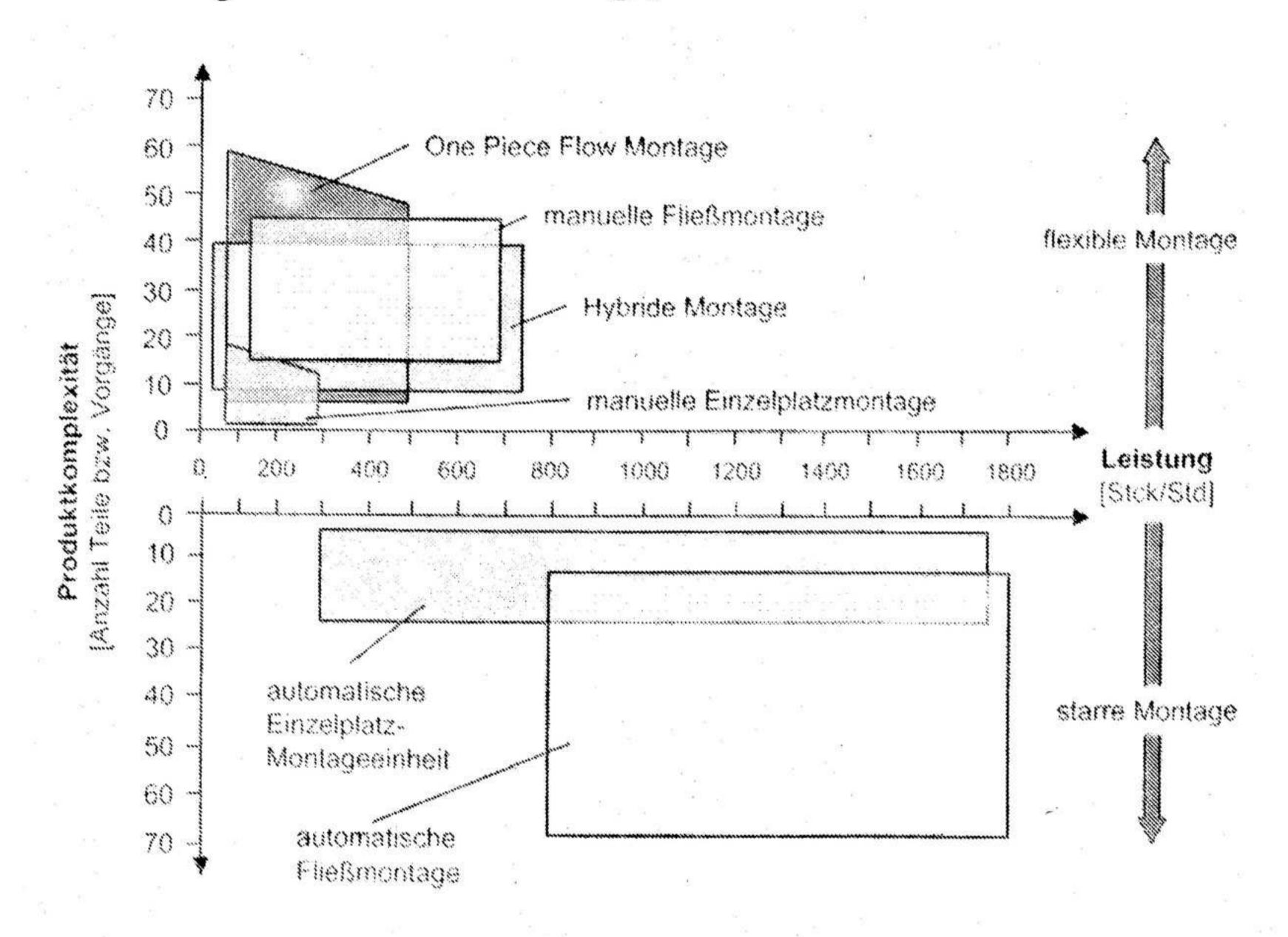


Abb. 1 Einteilung der Montagesysteme nach Komplexität und Leistung (B. Lotter)

Die Veränderungen der Montage durch die Globalisierung lassen sich im Wesentlichen auf zwei Bereiche zuordnen:

- > Die Produktlebensdauer wird immer kürzer.
- Die Anzahl der Produktvarianten wird permanent größer.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist in diesem Fall die automatisierte Montage für viele Produkte nicht mehr möglich. Der Investitionsbedarf setzt eine Nutzungszeit von 5 bis 8 Jahren voraus, was bedeutet, dass bei einer Produktlebenszeit von ca. 2 Jahren automatisierte Montageanlagen nicht mehr zum Einsatz kommen können. Damit kommt der manuellen bis einschließlich der hybriden Montagetechnik, unter Voraussetzung erhöhter Wirtschaftlichkeit, eine besondere Bedeutung zu.

Ein Rationalisierungspotential im Bereich der Kleingerätemontage besteht in der Reduzierung der Bewegungslängen (Hinlangen und Bringen) und im Montageablauf.

Aus Abb. 2 geht der Zeitaufwand für einen Montagevorgang, abhängig von der Bewegungslänge, bestehend aus den nach MTM fünf Grundbewegungen Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen, hervor.

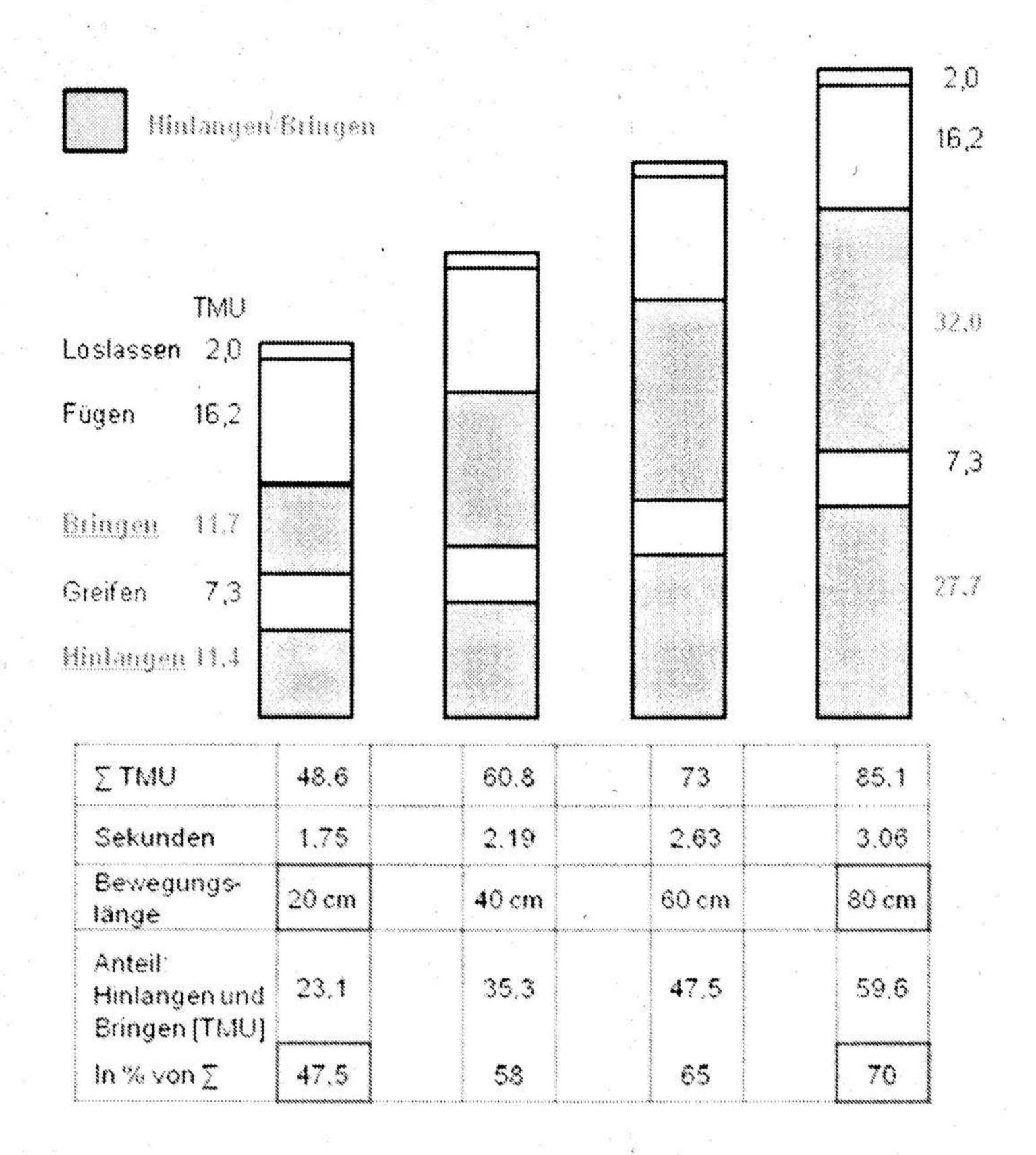


Abb. 2 Montagevorgangszeitentwicklung bei unterschiedlichen Bewegungslängen

Deutlich ist, dass, bezogen auf einen einfachen Fügevorgang nach MTM P 2 SE, der Gesamtaufwand durch die Größenordnung der Bewegungslänge von Hinlangen und Bringen bestimmt wird. Bei einer Bewegungslänge von 20 cm beträgt der Zeitanteil von Hinlangen und Bringen 47,5 % und bei einer Bewegungslänge von 80 cm 70 % der Gesamtzeit eines einzelnen Montagevorganges.

Mit Verkürzung der Handhabungswege verkürzt sich die Montagezeit und erhöht sich die Leistung. Das gleiche gilt auch für die Handhabung von Werkzeugen, wie z. B. einem pneumatischen Schrauber.

Der Montageablauf kann stückweise oder satzweise erfolgen:

Stückweiser Montageablauf: Bei der stückweisen Montage wird zunächst das erste Produkt eines Loses schrittweise zusammengebaut und das nächste erst dann in Angriff genommen, wenn alle Montagevorgänge am ersten Produkt ausgeführt sind. Der Vorgang wiederholt sich, bis das ganze Los montiert ist.

Satzweiser Montageablauf: Bei der satzweisen Montage wird zunächst der Arbeitsplatz mit einem definierten Satz gleicher Teile bestückt und dann der jeweilige erste Montagevorgang an allen aufgelegten Produkten ausgeführt. Der nächste Montagevorgang wird erst dann in Angriff genommen, wenn die vorhergehenden Vorgänge an allen Produkten ausgeführt worden sind. Ist das Los größer als die Anzahl der am Arbeitsplatz aufgelegten Produkte, wiederholt sich der Ablauf entsprechend.

Die satzweise Montage ist durch Wiederholung einzelner Montagevorgänge gekennzeichnet und erfordert weniger Zeitaufwand gegenüber der stückweisen Montage, weil z. B. Handhabungsvorgänge von Werkzeugen sich nur anteilig auswirken. Auch können Kleinteile, wie z.B. Schrauben, Scheiben usw., nicht einzeln sondern in Mengen (handvoll) gegriffen werden Damit werden Hinlang- und Bringbewegungen eingespart und ein hoher Übungsgrad erreicht. (Lotter, B. Wiendahl, H.P. 2006)

## 2 Beispiel – Vergleich von stück- zum satzweisen Montageablauf

An einem Beispiel zur Montage eines Produktes, bestehend aus 10 unterschiedlichen Teilen, wird die entsprechende Arbeitsplatzgestaltung nach Abb. 3 für satz- und stückweisen Montageablauf im Detail erklärt:

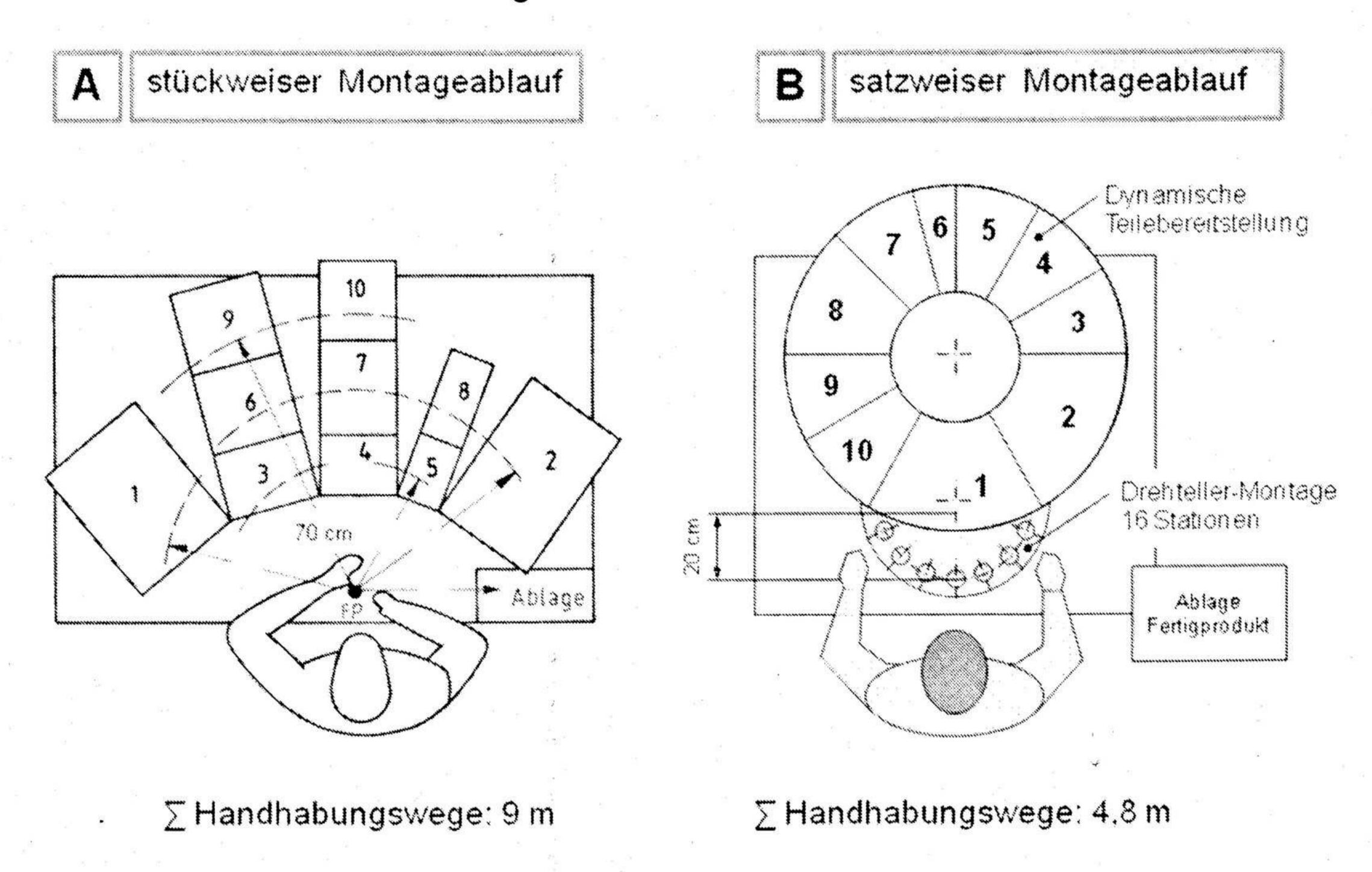


Abb. 3 Arbeitsplatzgestaltung "A" stückweiser, "B" satzweiser Montageablauf

Nach den Werten aus Abb. 3 errechnet sich für die stückweise Montage, unter Berücksichtigung einer persönlichen Verteilzeit von 10 %, eine Montagezeit von 26,4 Sekunden und entspricht damit, bei einer angenommenen organisatorischen Verfügbarkeit von 90 %, einer Stundenleistung von 123 montierten Baugruppen. Für die satzweise Montage ergibt sich eine Montagezeit von 18,15 Sekunden, was einer Zeitreduzierung von 31 % entspricht. Die Stundenleistung erhöht sich auf 178 Baugruppen.

Aus Sicht der Ergonomie ist festzustellen, dass sich die Handhabungslängen (Hinlangen und Bringen) bei einer Jahresleistung im Einschichtbetrieb und stückweisem Montageablauf auf 1.782 km summieren. Dagegen sind bei der satzweisen Montage mit gleichzeitig höherer Leistung nur noch 1.375 km notwendig. Das bedeutet eine Reduzierung von 407 km. Der hohe Anteil von Bewegungslängen ≥ 40 cm bei der stückweisen Montage führt dazu, dass derartige Handhabungen nur

durch zusätzliche Rumpfdrehungen und unter gestreckter Armhaltung auszuführen sind und sich die physische Belastung der Mitarbeiter/innen damit erhöht. Dagegen können bei der satzweisen Montage alle Bewegungen innerhalb des Sehbereiches – ohne zusätzliche Belastung – ablaufen.

Aus Abb. 4 geht der wirtschaftliche Vergleich zwischen stückweiser und satzweiser Montage für dieses Beispiel hervor. Der Berechnung ist als Planvorgabe eine Jahresleistung von 500.000 Stück vorgegeben. Die Stückleistung pro Stunde liegt bei dem stückweisen Montageablauf, wie bereits ausgeführt, bei 123 und bei dem satzweisen Montageablauf bei 178 montierten Baugruppen. Zur Erfüllung der Planvorgabe sind bei der stückweisen Montage zwei Arbeitsplätze notwendig.

	355 105				
		stückweiser Montageablauf	satzweiser Montageablauf		
Investition	[€]	2 Arbeitsplätze 3 000,	1 Arbeitsplatz 12 000,		
Abschreibung 5 Jahre	(E)	600,	, 2400,		
Kalk. Zinsen 8 % von 50 % Invest.	[€]	120,	480,		
Instandhaltung	[€]	150,	600,		
Anlagenkosten/Jahr	[€]	870,	3 480,		
Nutzungszeit für 500 000 Stück	[h]	4 065	2 808		
Stundensatz	[E]	0,21	1,24		
Personalkosten/Stunde (1,26 Mitarbeiter) Personalkosten/Stunde (1 Mitarbeiter)	[€]	50,40	40,		
Montagekosten (1.26 Mitarbeiter) Montagekosten (1 Mitarbeiter)	[€]	50,61	41,24		
Leistung/Stunde	[Stück]	123 × 1,26 = 155	178		
Montagekosten/Stück	(E)	0,327	0,232		

Abb. 4 Platzkostenrechnung

Mit den aus der Platzkostenrechnung ergebenden Montagestückkosten errechnen sich beim Einsatz der satzweisen Montage gegenüber der stückweisen Montage eine Kostenreduzierung von:

€ 0,327 - € 0,232 = € 0,095 und damit eine Jahreseinsparung von

€/Stück 0,095 x 500.000 Stück = € 47.500,--

#### 3 Beispiel - satzweise Montage mit Robotereinsatz

Am Beispiel eines pneumatischen Ventils wird der wirtschaftliche Unterschied zwischen manueller Montage mit stückweisem Montageablauf und hybrider Montage mit satzweisem Montageablauf beschrieben.

Abb. 5 zeigt mit Bild "A" das Ventil. Es besteht aus 13 Einzelteilen. Bild "B" zeigt den dazugehörigen manuellen Montageplatz für stückweisen Montageablauf.

Die Planungsvorgabe bezieht sich auf einen Jahresbedarf von ca. 500.000 Ventilen. Die Montagestückkosten dürfen max. € 0,40 nicht überschreiten.

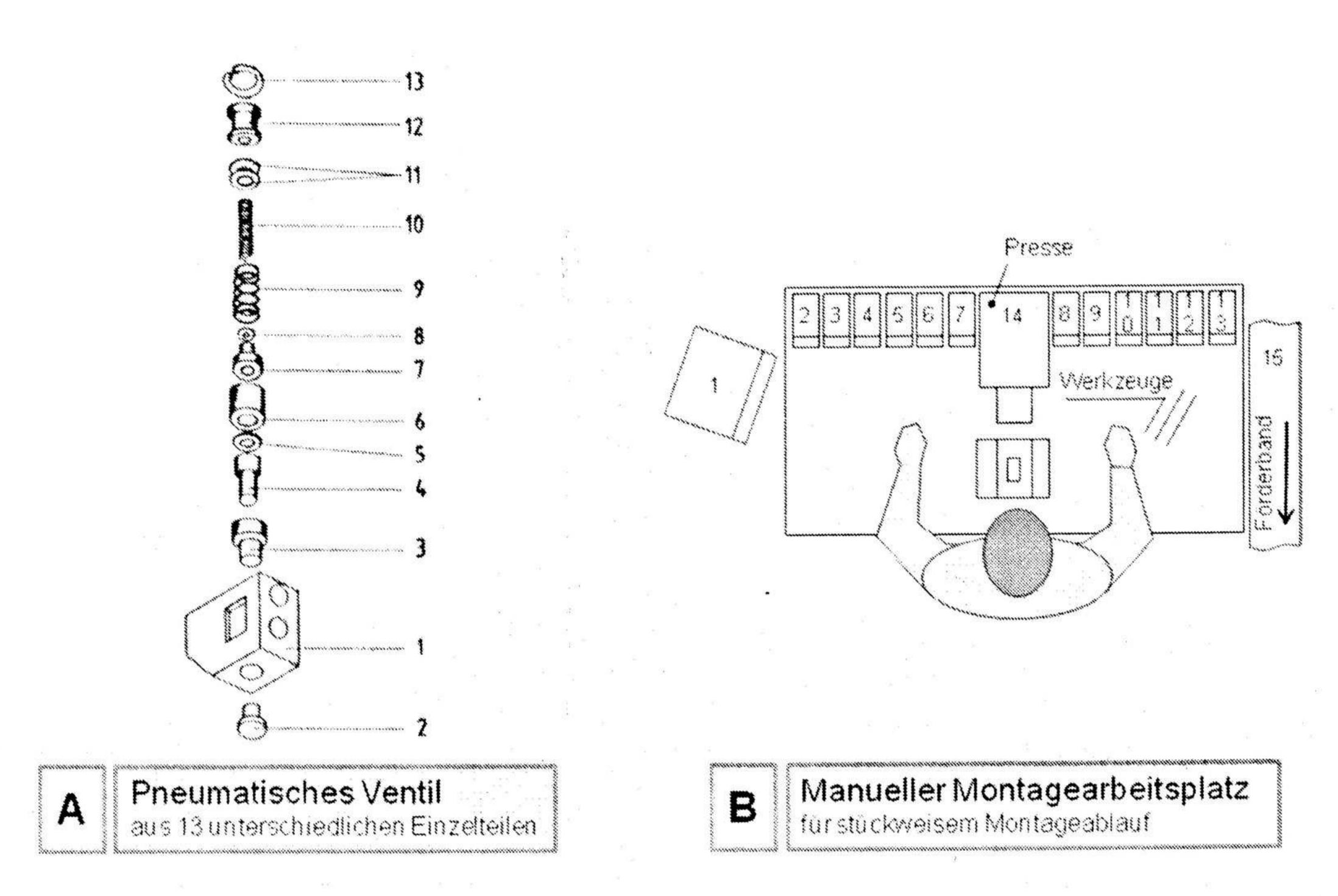


Abb. 5 Bild "A" Ventil, Bild "B" manueller Montageplatz mit stückweisem Montageablauf.

Eine MTM-Analyse ermittelt, unter Berücksichtigung von 10 % Verteilzeit, eine Montagezeit von 45,6 Sekunden pro Ventil. Unter der Annahme einer organisatorischen Verfügbarkeit von 90 % errechnet sich die Stundenleistung zu (3.600 s x 0,9) / 45,6 s/Ventil = 71 Ventile, bzw. an 230 Arbeitstagen mit je 14 Stunden wird eine Jahresleistung von 3.220 h x 71 Stück/h = 228.620 Stück erreicht. Zur Erfüllung der Planungsvorgabe müssen zwei Montageplätze im Zweischichtbetrieb zum Einsatz kommen. Die Arbeitsplätze sind mit je einer pneumatischen Presse und der entsprechenden Teilebereitstellung auszurüsten. Die Investition beträgt pro Platz ca. € 6.000,--.

Die Planvorgabe der Montagekosten wird mit diesem System nicht erfüllt.

Zur Erfüllung der Planvorgaben wird der Lösungsvorschlag einer hybriden satzweisen Montage mit Robotereinsatz nach Abb. 6 notwendig.

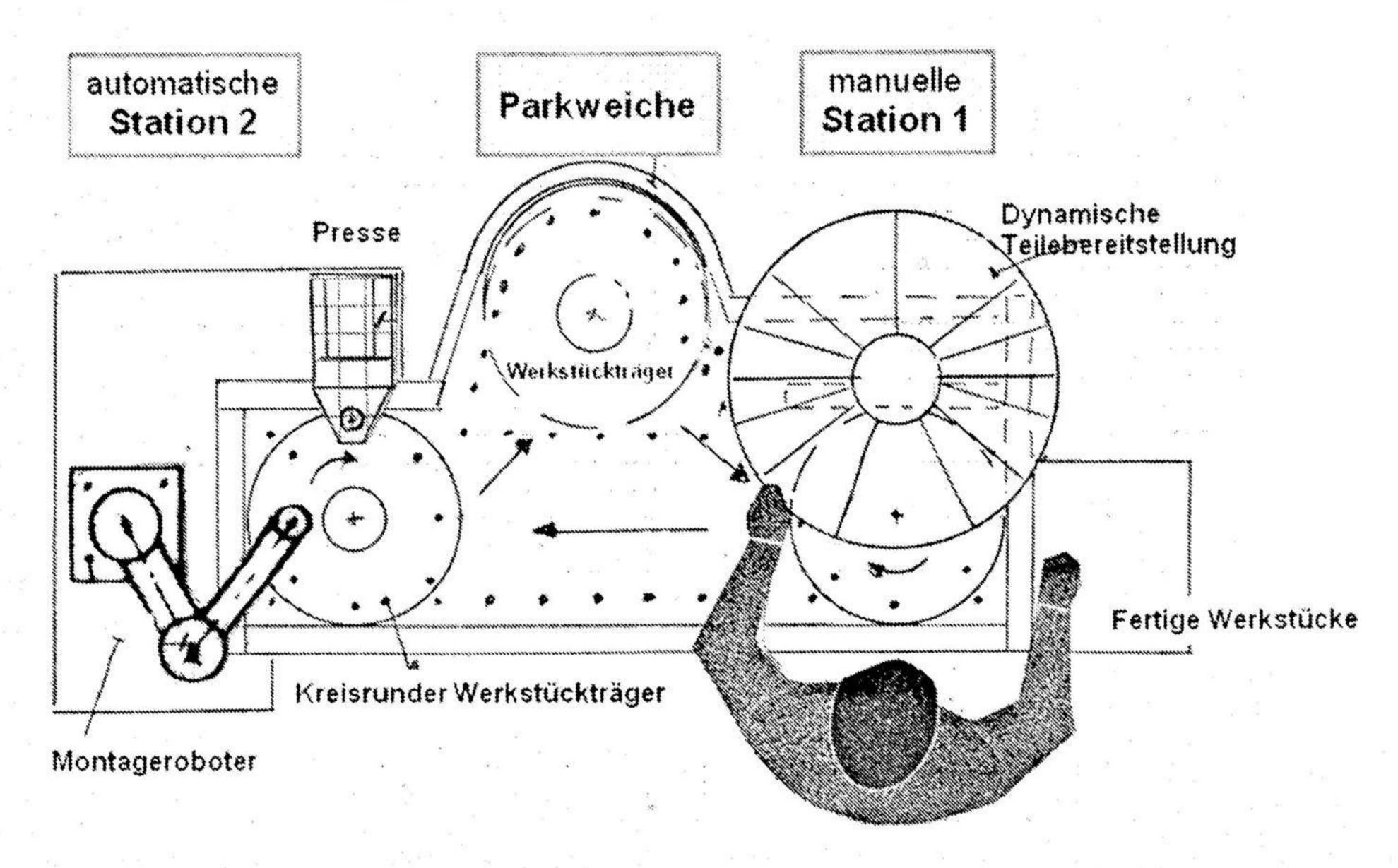


Abb. 6 Hybride satzweise Montage mit Robotereinsatz

Die Abb. 6 zeigt einen hybriden Montagearbeitsplatz mit satzweisem Montageablauf. Der hybride Montagearbeitsplatz ist mit zwei Stationen ausgerüstet. So wird an der Station 1 das Platzieren der Einzelteile auf einem Mehrfachwerkstückträger mit 400 mm Durchmesser und 12 Montageaufnahmen manuell durchgeführt. Die Station 2 ist mit einem SCARA-Roboter und einer Presse zur automatischen Durchführung der Fügeprozesse ausgerüstet. Zwei Mehrfachwerkstückträger sind hierbei im Einsatz. Durch die kreisrunden Mehrfachwerkstückträger wird sichergestellt, dass jeder Vorgang 12-mal hintereinander – also satzweise – durchgeführt wird.

#### Der Arbeitsablauf ist wie folgt:

Station 1: Am manuellen Arbeitsplatz werden die Einzelteile dynamisch auf einem Drehteller bereitgestellt. Der kreisrunde Werkstückträger mit 12 Aufnahmen wird durch eine Rundtakteinheit getaktet. Abb. 7 zeigt eine derartige Montageaufnahme. Sind 12 Teile eines Einzelteiles platziert, wird der Drehteller mit den Teilebehältern so weit gedreht, dass das nächste zu platzierende Einzelteil in optimaler Greifposition gegriffen werden kann.

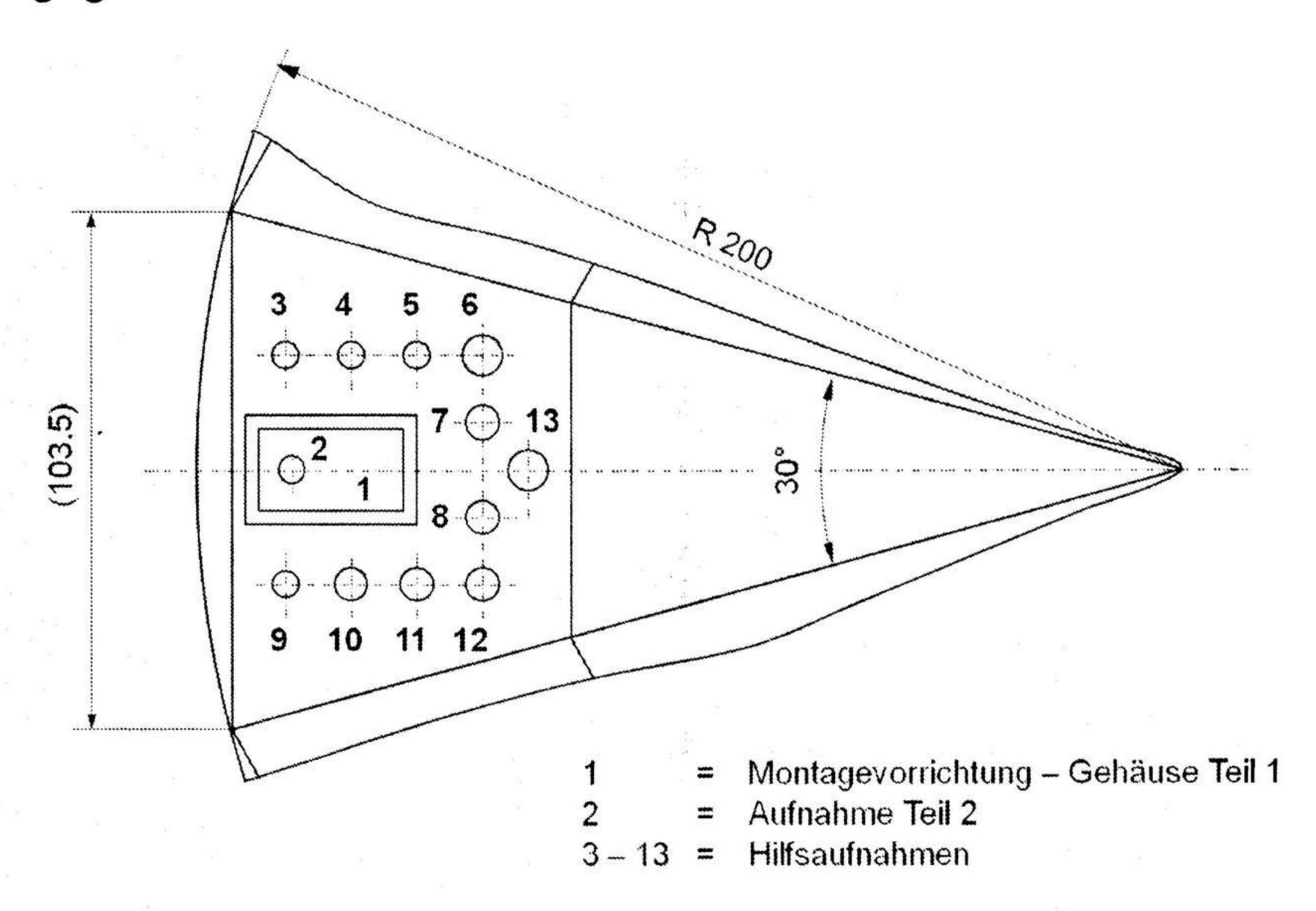


Abb. 7 Werkstückträgeraufnahme für pneumatisches Ventil

Ablauf der Teilehandhabung: Als erstes wird Teil 2 zwölfmal hintereinander in die Montageaufnahme platziert, dann 12-mal das Gehäuse Teil 1. Alle weiteren Teile, Nummer 3 bis 13, werden pro Teil jeweils 12-mal in die Hilfsaufnahmen platziert. Der bestückte kreisrunde Werkstückträger wird anschließend gegen den in der Station 2 abgearbeiteten Werkstückträger ausgetauscht. Zum Austausch der Werkstückträger ist eine Werkstückträger-Parkweiche vorgesehen.

#### Ablauf des Werkstückträger-Wechsels:

- Von der Mitarbeiterin wird der Werkstückträger mit fertig montierten Ventilen von der automatischen Station 2 in die Parkweiche verschoben.
- Der mit Einzelteilen bestückte Werkstückträger wird von der manuellen Station 1 in die automatische Station 2 verschoben und der Ablauf gestartet (Taster).
- Der in der Parkweiche platzierte Werkstückträger wird in Station 1 verschoben, die fertig montierten Ventile ausgeladen und mit neuen Teilen bestückt.

Mit einer MTM-Analyse, unter Berücksichtung von 10 % Verteilzeit, errechnet sich eine Montagezeit von 21,5 Sekunden pro Ventil. Bei einer organisatorischen Verfügbarkeit von 90 % errechnet sich eine Stundenleistung von

 $(3.600 \text{ s} \times 0.9) / 21.5 \text{ s/Ventil} = 151 \text{ Ventile}.$ 

Die Jahresleistung errechnet sich im Zweischichtbetrieb zu

3.220 h x 151 Ventile/h = 486.220 Ventile

Die Investitionshöhe für diesen hybriden Montagearbeitsplatz liegt bei € 150.000,--

Abb. 8 zeigt den Platzkostenvergleich zwischen der stückweisen-manuellen und der satzweisen-hybriden Montage der Ventile.

		stückweiser Montageablauf (nach Folie Nr. 5)		satzweiser Montageablauf (nach Folie Nr. 6)	
Investition	[€]	2 Arbeitsplätze 12 (	000,	1 Arbeitsplatz	150 000,
Abschreibung 5 Jahre	[€] 	2	400,		30 000,
Kalk. Zinsen 8 % von 50 % Invest.	[€]		480		6 000,
Instandhaltung 5 % von Invest.	[€]		600,		7 500,
Anlagenkosten/Jahr	[€]	3 •	480,		43 500,
Anlagenkosten bei 3 220 Stunden/Jahr	[€]		1,08		13,51
Personalkosten/Stunde (2 Mitarbeiter)	[€]		80		
Personalkosten/Stunde (1 Mitarbeiter)	<b>[</b> \emptyset]				40,
Stundensatz	[€]	T	81,08		53,51
Leistung Stück/Stunde	[Stück]	71 x 2 =	142		151
Montagekosten/Stück	[6]		0,57		0,35
Jahresleistung	[Stück]	45	7 240		486 220

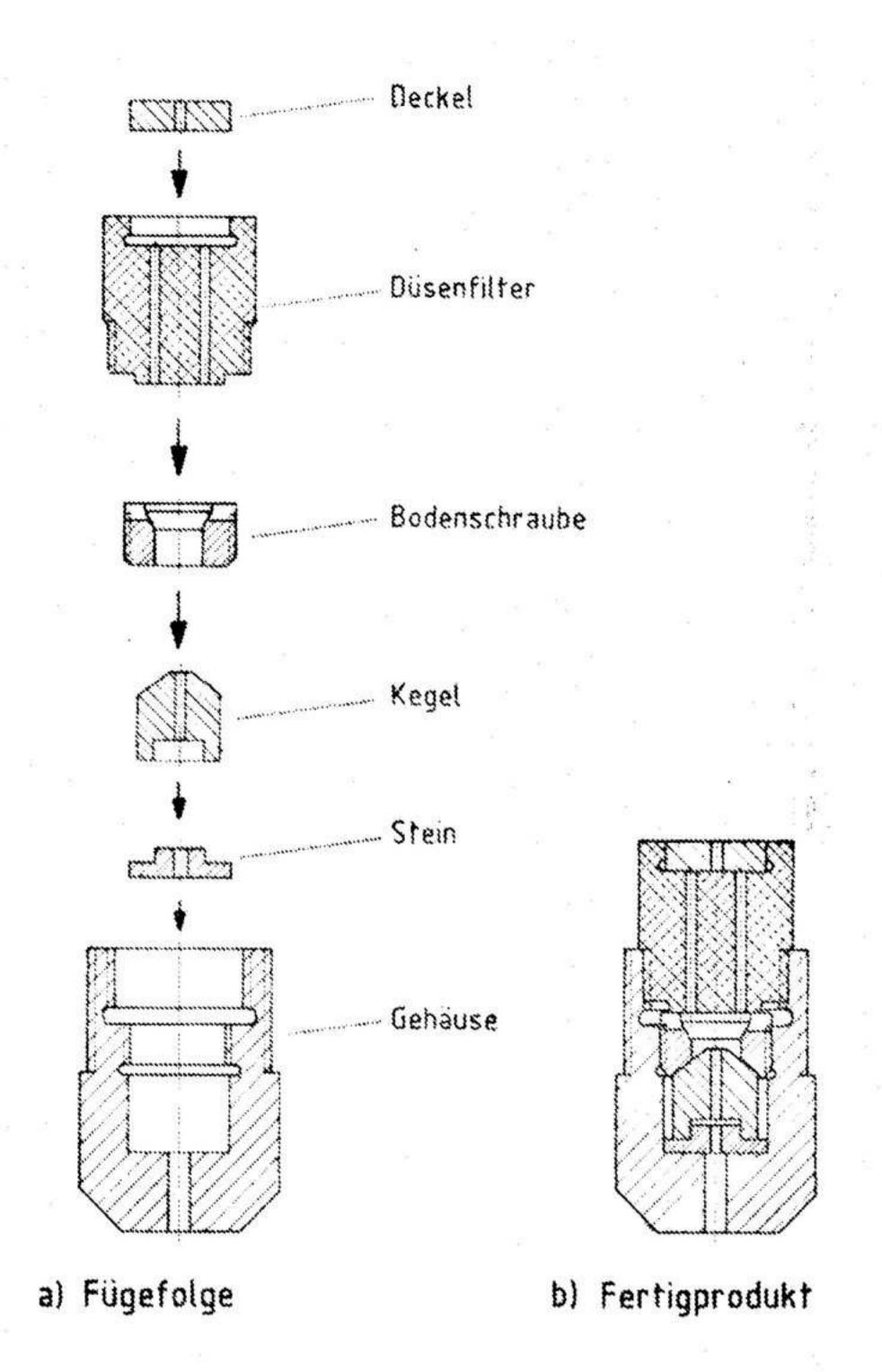
Abb. 8 Platzkostenrechnung – Vergleich zwischen stückweiser Montage und hybrider satzweiser Montage

Die Montagekostenreduzierung errechnet sich zu € 0,57 – € 0,35 = € 0,22 pro Stück und ergibt eine Jahreseinsparung von 486.220 Ventile x €/Ventil 0,22 = € 106.968,--.

Die Investitionssumme von € 150.000,-- für den hybriden Montagearbeitsplatz mit satzweisem Montageablauf amortisiert sich in € 150.000,-- / € 106.968,-- = 1,4 Jahren.

## 4 Automatische Montage im Vergleich zur hybriden satzweisen Montage

Abb. 9 zeigt eine mit einer Stückzahl von ca. 600.000 pro Jahr zu montierende Hochdruckdüse in ihrem Aufbau und die dazugehörige Auflistung der notwendigen Montagevorgänge.



#### Montagevorgänge:

- 1. Gehäuse in Aufnahme platzieren
- 2. Stein in Gehäuse platzieren
- 3. Stein einpressen
- 4. Kegel in Gehäuse fügen
- 5. Kegel fetten
- 6. Bodenschraube anfügen
- 7. Bodenschraube eindrehen
- 8. Prüfen
- 9. Düsenfilter anfügen
- 10. Düsenfilter einschrauben
- 11. Deckel platzieren
- 12. Deckel einpressen
- 13. Prüfen
- 14. Ausladen

Abb. 9 Hochdruckdüse – Produktaufbau und Montagevorgänge

Für eine manuelle Montage und einer Arbeitsplatzgestaltung nach Abb. 10 errechnet sich mit einer MTM-Analyse, unter Berücksichtigung einer Verteilzeit von 10 %, eine Montagezeit von 46,2 Sekunden. Unter Annahme einer organisatorischen Verfügbarkeit von 90 % errechnet sich eine Stundenleistung von:

 $(3.600 \text{ s} \times 0.9) / 46.2 \text{ s/Stück} = 70 \text{ Stück}.$ 

Der gedachte manuelle Arbeitsplatz nach Abb. 10 ist mit zwei unterschiedlichen Pressen, einer Fettdosiereinheit und zwei unterschiedlichen pneumatischen Schraubern ausgerüstet, wie in der Abbildung dargestellt:

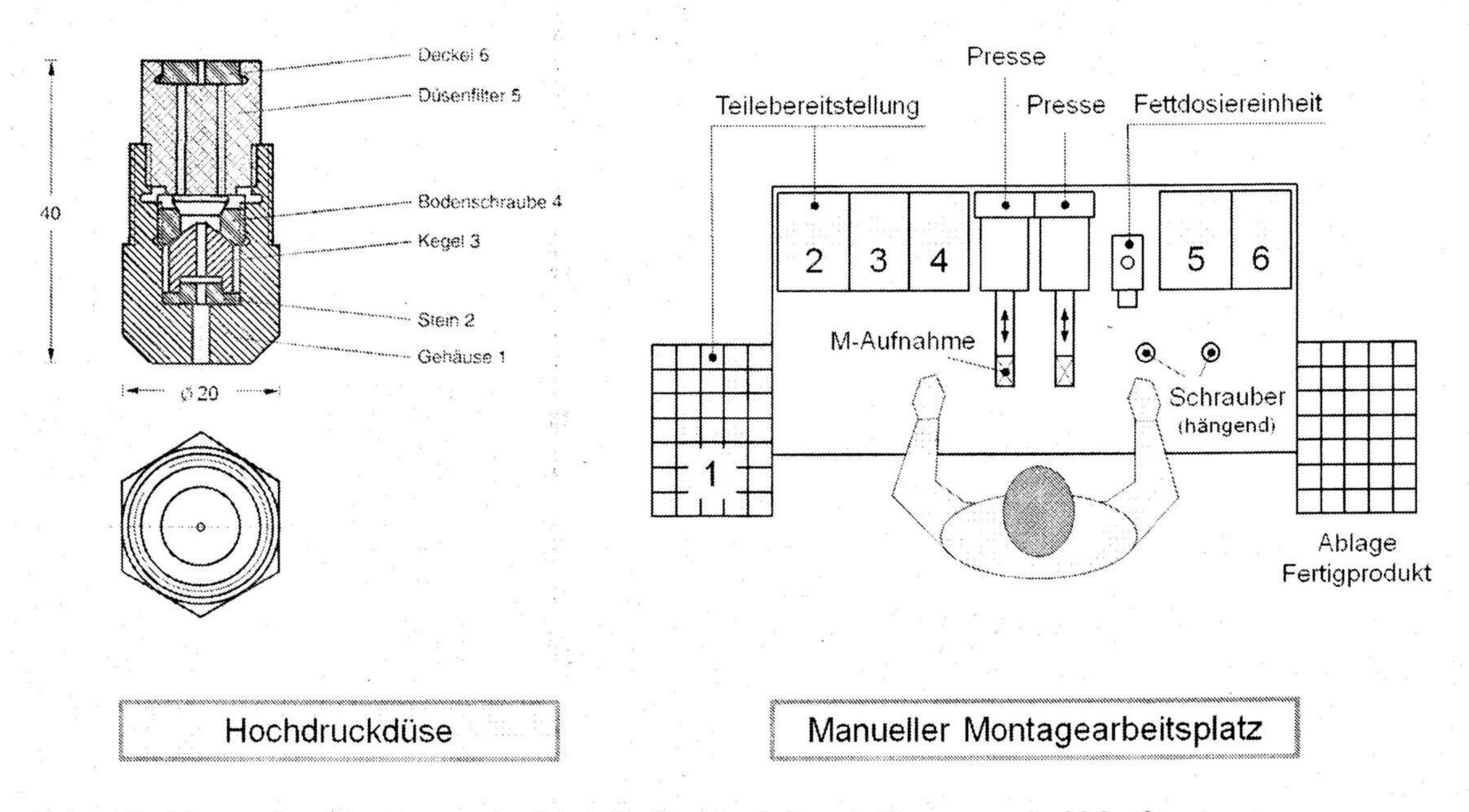


Abb. 10 Manueller Montagearbeitsplatz für Hochdruckdüsen nach Abb. 9

Planungsgrundlage ist eine Jahresleistung von ca. 600.000 Stück. Die Montagestückkosten sollen unter € 0,40 liegen. Zur Erfüllung der Planzahl bei manueller Montage wird der Einsatz von drei Arbeitsplätzen nach Abb. 10 notwendig. Zwei dieser Arbeitsplätze müssen im Zweischichtbetrieb (14 Stunden/Tag) und ein Arbeitsplatz im Einschichtbetrieb (7 Stunden/Tag) betrieben werden, um eine Jahresleistung/Jahresproduktion von

(14 h/Tag x 2 + 7 h/Tag) x 230 Tage/Jahr x 70 Stück/h = 563.500 Stück/Jahr zu erreichen. Damit sind insgesamt fünf Mitarbeiter(innen) notwendig.

Aus der Platzkostenrechnung nach Abb. 14 gehen bei der manuellen Montage Montagestückkosten von € 0,58 hervor. Das bedeutet, dass die geplanten Montagestückkosten von ≤ € 0,40 nicht erreicht werden.

Diese Ergebnisse machen eine alternative Planung einer automatisierten Montage notwendig. Abb. 11 zeigt hierfür einen Lösungsansatz.

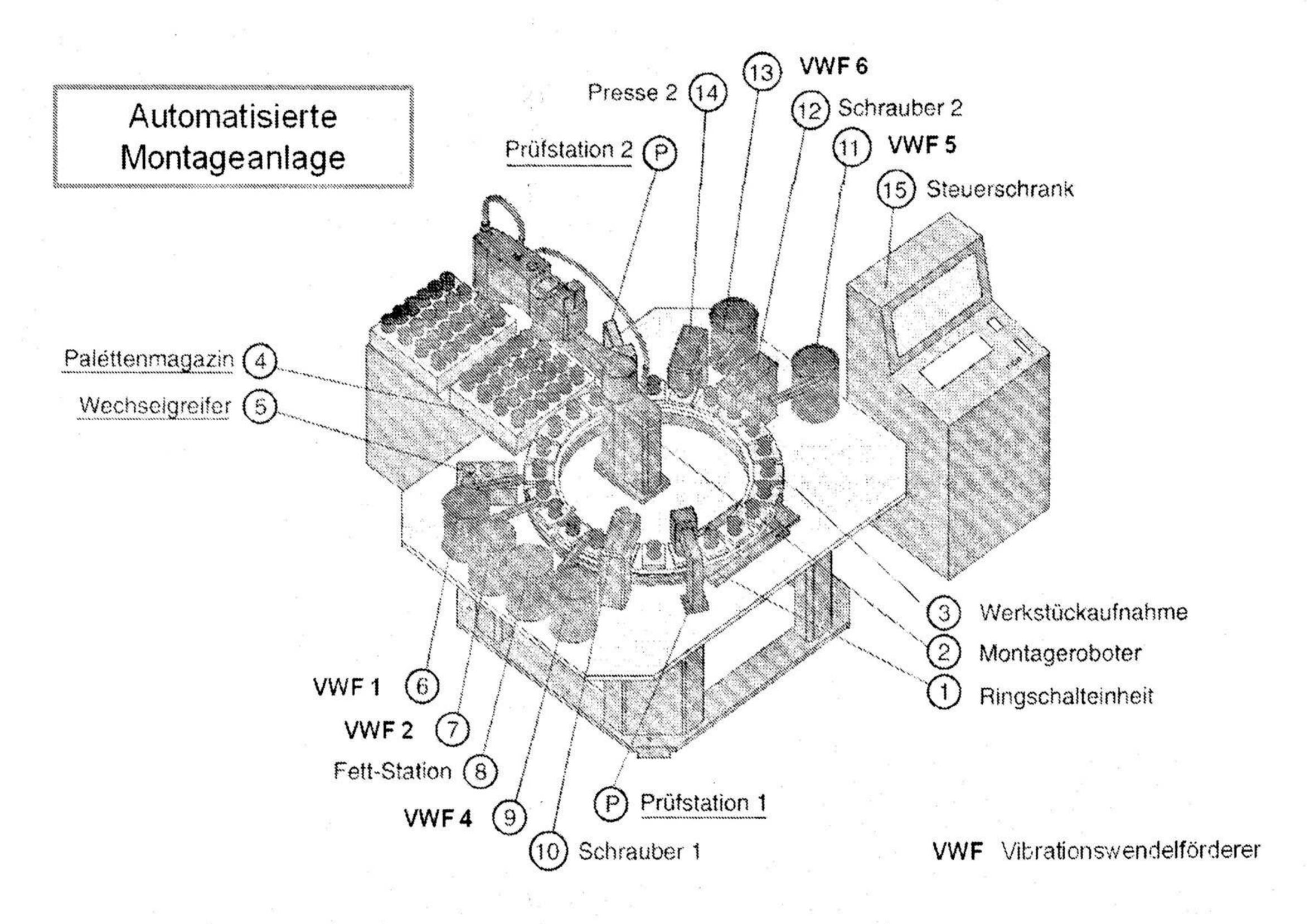


Abb. 11 Automatisierte Montageanlage mit satzweisem Montageablauf

Das Basisteil "Gehäuse" darf wegen der Gefahr, das Außengewinde zu beschädigen, nicht über Vibrationswendelförderer zugeführt werden. Von der Teilefertigung wird das Gehäuse bereits in Palettenmagazinen der Montage angeliefert.

Auf einem Maschinentisch ist eine Ringschalttischeinheit mit einer 24er Teilung und 24 Werkstückaufnahmen angeordnet. Der Montageroboter ist im Innenraum des Ringschalttisches platziert.

Zur automatischen Montage werden das Basisteil "Gehäuse" im Palettenmagazin und die übrigen Teile mit Vibrationswendelförderern zugeführt. Die Fettstation besteht aus Fettbehälter mit Pumpe und Dosierventil. Die Schraubvorgänge erfolgen durch automatische Schrauber. Pneumatische Pressen führen die Prozessvorgänge aus. Prüfstationen sichern die Qualität der Montage.

Nach dem Konzept der satzweisen Montage wird jeder Vorgang 24-mal hintereinander durchgeführt. Die gesamte Montagezeit, einschließlich der Greiferwechselzeiten, beträgt 18,5 Sekunden. Bei einer organisatorischen Verfügbarkeit von 90 % errechnet sich eine Stundenleistung von 175 Stück. Zur Anlagenbetreuung ist ein Mitarbeiter zu 50 % tätig. (Lotter- Wiendahl 2006)

Aus der Platzkostenrechnung nach Abb. 14 gehen ein Investitionsbedarf für die automatisierte Lösung von € 620.000.-- und Montagestückkosten von € 0,433 hervor. Gegenüber der manuellen Montage verringern sich die Montagestückkosten von € 0,58 auf € 0,433 und entspricht damit einer Reduzierung von € 0,147. Bei einer Jahresleistung von 563.500 Stück errechnet sich eine Montagekosteneinsparung von 563.500 Stück/Jahr x €/Stück 0,147 = €/Jahr 82.835.--. Bei der angenommenen Investition von € 620.000.-- und der genannten Einsparung bedeutet dies eine Amortisationszeit von 7,5 Jahren und ist damit keine vertretbare wirtschaftliche Lösung.

# Hybride Montageanlage für satzweisen Montageablauf für Hochdruckdüsen nach Abb. 9

Der Grundaufbau der Montageeinheit nach Abb. 12 besteht aus einer Rundtakteinheit mit 24 Stationen, einem Schaltteller 1.000 mm Durchmesser und 24 Aufnahmen nach Abb. 13. Zentral über dem Schaltteller ist eine NC-gesteuerte Drehscheibe zur Bereitstellung der Einzelteile angeordnet.

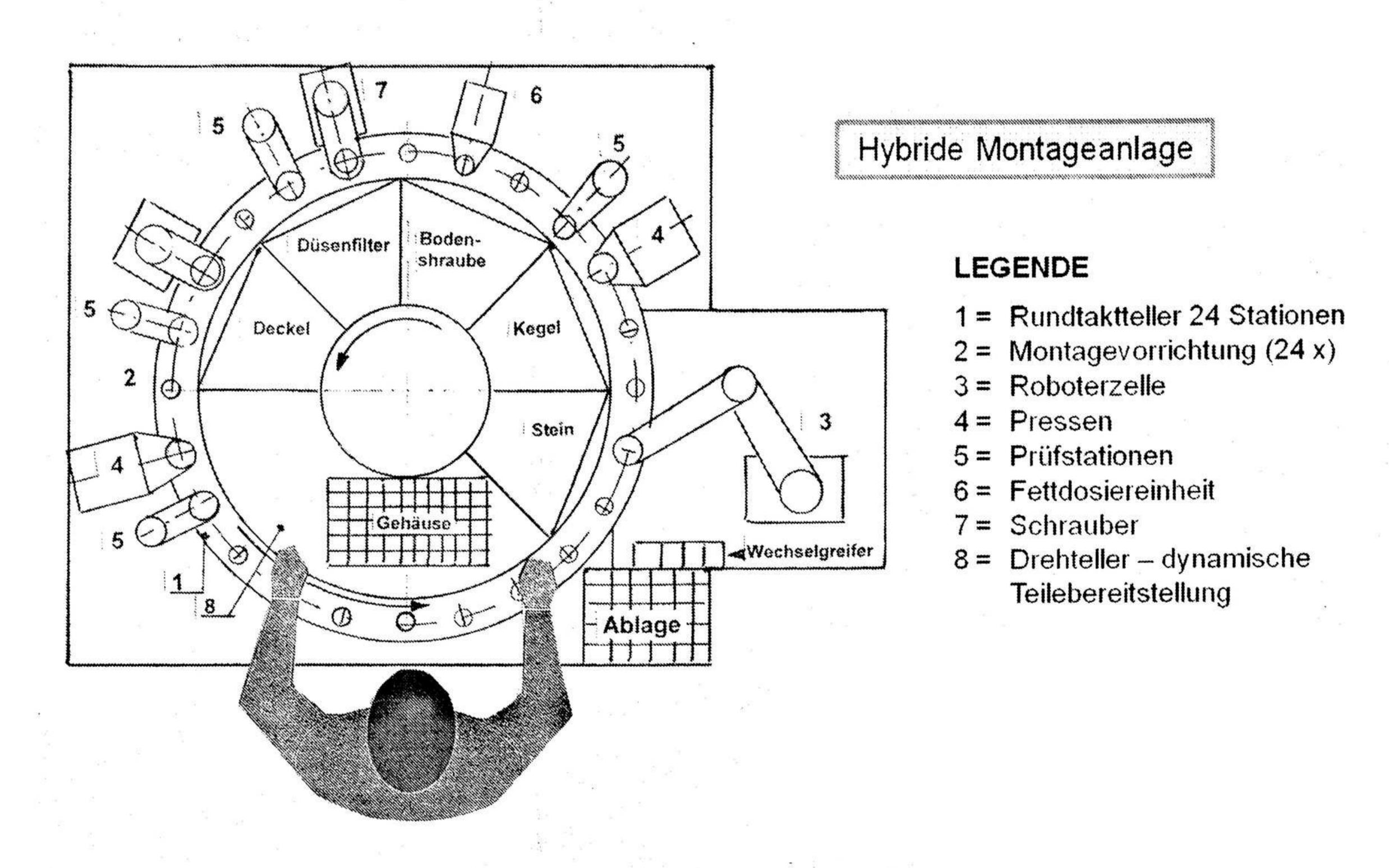


Abb. 12 Hybride Montageanlage für satzweisen Montageablauf

Der Montageablauf ist wie folgt: Vom Mitarbeiter oder von der Mitarbeiterin wird das Teil 1 24-mal in die Aufnahme nach Abb. 13 eingelegt. Nach diesen 24 Vorgängen dreht sich die Drehscheibe mit den bereitgestellten Teilen so weit, dass das nächste zu handhabende Einzelteil so bereitgestellt wird, dass die kürzeste Greiflänge gegeben ist. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft bis das letzte Teil in den Hilfsnestern der Aufnahmen platziert worden ist. Parallel zu diesen Vorgängen übernimmt der Roboter das Handhaben der Teile aus den Hilfsaufnahmen und das Fügen in das Basisteil "Gehäuse". Längs der Rundtakteinheit sind die automatischen Stationen für Press- und Schraubvorgänge, die Fettdosiereinheit und die Prüfstationen angeordnet.

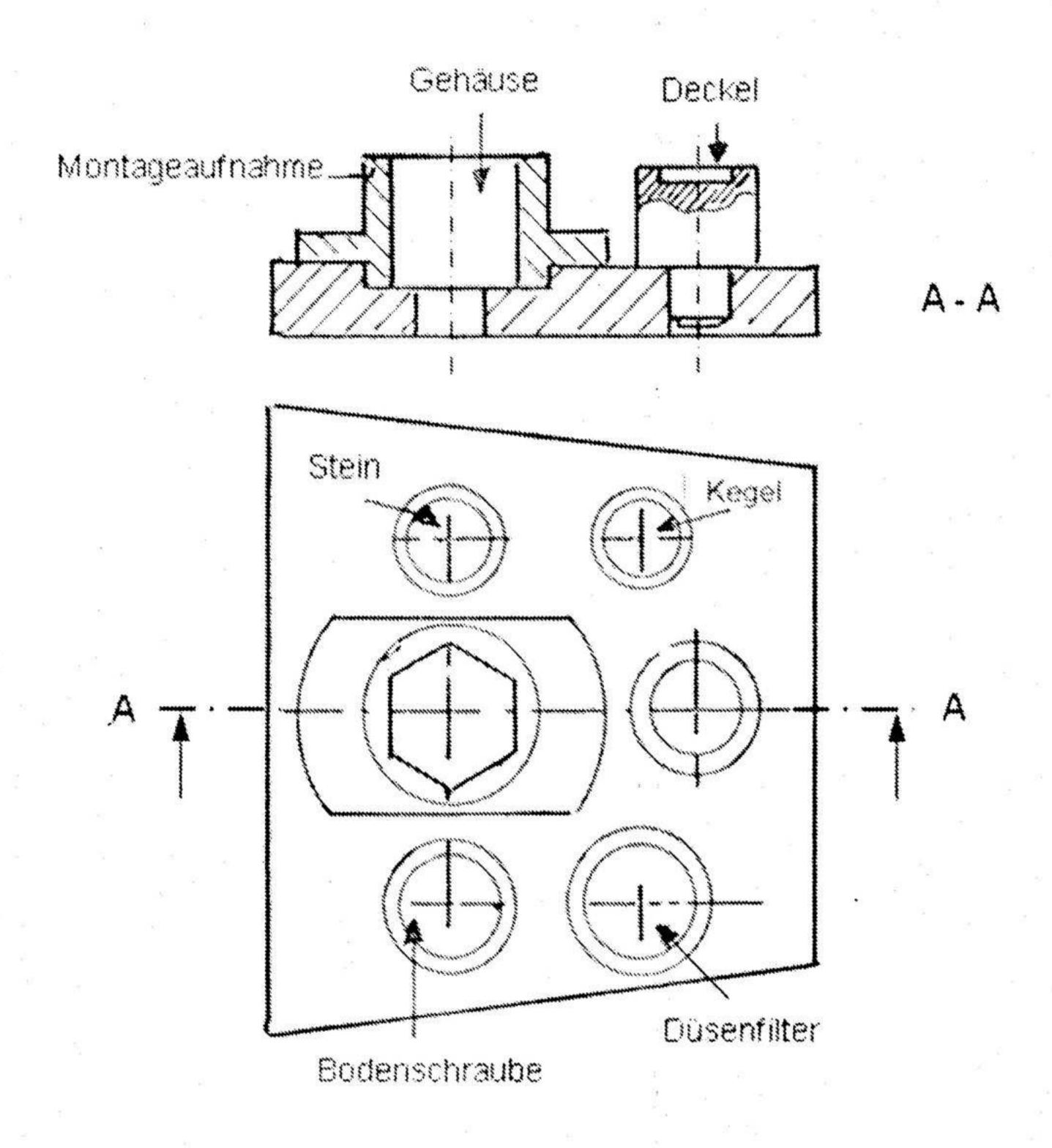


Abb. 13 Werkstückträger mit Hilfsaufnahmen

Eine MTM-Analyse errechnet, unter Annahme einer Verteilzeit von 10 %, eine Montagezeit von 18,5 Sekunden pro Produkt. Unter .der Annahme einer organisatorischen Verfügbarkeit von 90 % errechnet sich eine Stundenleistung von:

 $(3.600 \text{ s} \times 0.9) / 18.5 \text{ s/Stück} = 175 \text{ Stück}$ 

Die Investition für die hybride Montageanlage nach Abb. 12 beläuft sich auf € 300.000.--.

Die Platzkostenrechnung nach Abb. 14 ermittelt einen Montagekostensatz von € 0,383 pro Stück und die Vorgabe von max. € 0,40 an Montagekosten wird damit erreicht.

Gegenüber den Montagestückkosten der manuellen Montage von € 0,58 reduzieren sich die Montagestückkosten der hybriden satzweisen Montage mit € 0,383 um € 0,197.

Bei einer Jahresproduktion von 563.500 Produkten errechnet sich für die Hybridlösung, gegenüber der manuellen Montage, eine Einsparung von € 111.010.-- und eine Amortisationszeit von

€ 300 000.-- / €/Jahr 111 010.-- = 2,7 Jahre.

		Manuelle Montage	Automatische Montage	Hybride Montage				
Investition	[€]	45 000,	620 000,	300 000,				
Abschreibung 5 Jahre	[€]	9 000,	124 000,	60 000,				
Kalk. Zinsen 8 % von 50 % Invest.	[€]	1 800,	24 800,	12 000,				
Instandhaltung 5 % von Invest.	[€]	2 250,	31 000,	15 000,				
Anlagenkosten/Jahr	[€]	13 050,	179 800,	87 000,				
Anlagennutzung/Jahr in Stunden		(14×2+7)×230= 8 050	3 220	3 220				
Stundensatz	<b>[€]</b>	1,62	55,84	27,02				
Personalkosten/Stunde (2,5 Mitarbeiter)	[ <del>c</del> ]	100,						
Personalkosten/Stunde (0,5 Mitarbeiter)	[€]		20,					
Personalkosten/Stunde (1 Mitarbeiter)	[# <u>.</u> ]			40,				
Stundensatz	. [€]	101,62	75,84	67,02				
Leistung/Stunde	[Stück]	70 x 2,5 = 175	175	175				
Montagekosten/Stück	[€]	0,58	0,433	0,383				
Jahresleistung	[Stück]	563 500	563 500	563 500				
Jahresmontagekosten	[€]	326 830	243 996	215 821				
Amortisationszeit gegenüber manueller Montage	[Jahre]		7,5	2,7				

Abb. 14 Platzkostenrechnung – Vergleich der Montagesysteme zur Montage von Hochdruckdüsen

#### 5 Zusammenfassung

Der stückweise Montageablauf, in Kombination mit Teilautomatisierung, reduziert die Montagestückkosten gegenüber rein manueller Montage zwischen 25 bis 40 % und erhöht die Wirtschaftlichkeit und damit auch die Konkurrenzfähigkeit im globalisierten Markt.

Aus ergonomischer Sicht ist festzustellen, dass sich die Handhabungslängen bei der stückweisen Montage soweit verkürzen, dass trotz höherer Stückleistung der Aufwand für Hinlangen und Bringen extrem kleiner wird. Zu nahezu 100 % wird der Bewegungsablauf von Arm und Händen innerhalb des Sehbereiches durchgeführt. Damit wird Leistungswandel weitgehend vermieden.

## Literatur

Lotter B. u. Wiendahl H-P (2006) Montage in der industriellen Produktion. Springer Verlag, Berlin

Lotter B. (1992) Wirtschaftliche Montage, 2. Auflage VDI-Verlag, Düsseldorf Lotter B. u. Schilling W. (1994) Manuelle Montage. VDI-Verlag, Düsseldorf