

Stefan Hesse  
Viktorio Malisa



# Grundlagen der Handhabungs- technik



6., aktualisierte Auflage

HANSER



Hesse / Malisa  
**Grundlagen der Handhabungstechnik**



**Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!**

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

plus-7npj8-3legy

[plus.hanser-fachbuch.de](http://plus.hanser-fachbuch.de)



**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)



Stefan Hesse  
Viktorio Malisa

# **Grundlagen der Handhabungstechnik**

6., aktualisierte Auflage

**HANSER**

## Über die Autoren:

Dr.-Ing. habil. Stefan Hesse, Plauen (Deutschland)

FH-Prof. Dipl.-Ing. Viktorio Malisa, Präsident des Vereins zur Förderung der Automation und Robotik (F-AR), Wien (Österreich)

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.



Print-ISBN: 978-3-446-48018-6

E-Book-ISBN: 978-3-446-48071-1

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke des Text- und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2024 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: Frauke Schafft

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: © gettyimages.de/Andriy Onufriyenko

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany

# Vorwort

Die Handhabungstechnik ist ein interdisziplinäres Gebiet, das Fachgebiete wie Zuführsysteme, Maschinenverkettung, Pick-and-Place-Geräte, Greifer, Industrieroboter und Montagetransferanlagen unter einem Dach vereint. Dieses Buch stellt die wichtigsten Grundlagen zusammen. Es entstand aus der Vorlesungsreihe „Angewandte Robotik und Handhabungstechnik“, die durch Dr.-Ing. habil. Stefan Hesse an der Fachhochschule Technikum Wien im Studiengang Mechatronik/Robotik seit einiger Zeit gehalten wird. Auch aus der Lehrveranstaltung „End effectors“ des Autors sind zusätzlich wichtige Grundlagen eingeflossen.

Dr.-Ing. habil. Stefan Hesse war bei der Entwicklung des Curriculums für den Bachelor-Studiengang Mechatronik/Robotik am Technikum Wien beteiligt, und dieses Buch ist vollinhaltlich auf das neue Hochschulsystem abgestimmt.

Dieses Werk enthält nicht nur den Lehrstoff, sondern auch vertiefende Beispiele, Übungen und Kontrollfragen. Das versetzt die Studierenden in die Lage, schon zeitig auch neue Aufgaben selbstständig lösen zu können. Praktische Anwendungen der Automatisierung mit konventioneller Handhabungstechnik werden in einer Vielzahl abstrahierter konstruktiver Lösungen vorgestellt, die das Wirkprinzip und wichtige Funktionsträger rasch erkennen lassen. Industrieroboter und Geräte mit elektrischem Direktantrieb gehören dazu. Es erschließt sich die Vielfalt spezifischer Anforderungen, Möglichkeiten und praktisch Erprobtes. Das gelingt dem Autor dank seiner Erfahrung aus langjähriger Tätigkeit als Konstrukteur, Hochschullehrer, Fachbuchautor zahlreicher Bücher und Mitarbeiter der Zeitschrift HANDLING sowie seiner leichten Hand beim Illustrieren handhabungstechnischer Verfahren und Geräte.

Das Buch gewährt einen schnellen Einstieg ins Fachgebiet. Die dargelegten Grundlagen werden längerfristig Bestand haben. Dem Leser wird vermittelt, dass praxisgerechte Lösungen nicht zufällig entstehen. Handhabungstechnik kann systematisch entwickelt werden. Alles in allem wird den Studierenden ein bewährter und guter Leitfaden in die Hand gegeben, der in verständlicher Form Grundlagen, Prinzipien, Funktionsträger und Lösungen aufzeigt.

Wien, im August 2006

*Viktorio Malisa,  
Technikum Wien*

## Vorwort zur 5. Auflage

Die große Nachfrage nach dem Buch Handhabungstechnik vom Dr.-Ing. habil. Stefan Hesse ist in der Vollständigkeit der Informationen und vor allem der umfangreichen Sammlung an Zeichnungen, die deutlich und schnell Informationen vermitteln, begründet. Jede Zeichnung hat genau so viele Linien, wie für die klare Übermittlung der Funktion notwendig sind - keinen Strich zu viel und keinen Strich zu wenig.

Es liegt an der Gemeinschaft, diesen Schatz an Informationen weiter zu pflegen.

Wien, im April 2020

*Viktorio Malisa*

## Vorwort zur 6. Auflage

Das Buch „Grundlagen der Handhabungstechnik“ enthält eine Vielzahl von Praxisbeispielen, die sehr einfach und dennoch leistungsfähig, energieeffizient und nachhaltig konziert sind. Gerade in der heutigen Zeit, in der jeder privat aufgefordert ist, auf die Umwelt Rücksicht zu nehmen und in der von der Industrie erwartet wird, energiesparend zu produzieren und nur gezielt zu automatisieren, ist das Buch heutzutage wichtiger denn je.

Wien, im Mai 2024

*Viktorio Malisa*

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>Vorwort zur 5. Auflage</b> .....	<b>6</b>
<b>Vorwort zur 6. Auflage</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Bedeutung und Entwicklung</b> .....	<b>11</b>
1.1 Einführung .....	12
1.2 Geschichtlicher Rückblick .....	17
1.3 Handhabungstechnik im Produktionssystem .....	25
<b>2 Handhabungsobjekte</b> .....	<b>40</b>
2.1 Gliederung und Merkmale .....	40
2.2 Werkstückordnungen .....	45
2.3 Werkstückverhalten .....	54
2.3.1 Fallbewegung .....	57
2.3.2 Rollbewegung .....	62
2.3.3 Gleitbewegung .....	66
2.3.4 Kippbewegung .....	73
2.3.5 Wendebewegung .....	76
2.3.6 Hängefähigkeit .....	79
2.3.7 Posenstabilität .....	80
2.4 Handhabungsgerechte Werkstückgestaltung .....	81
2.5 Montagegerechte Gestaltung .....	90
<b>3 Handhabungsvorgänge</b> .....	<b>98</b>
3.1 Funktionen und Sinnbilder .....	98
3.2 Aufstellen von Funktionsplänen .....	104
3.3 Zeitmanagement .....	107
<b>4 Funktionsträger und Zuführeinrichtungen</b> .....	<b>109</b>
4.1 Gliederung und Lösungswege .....	110
4.2 Speichereinrichtungen .....	111
4.2.1 Bunker .....	113

---

4.2.2	Stapelineinrichtungen . . . . .	131
4.2.3	Magazine . . . . .	142
4.3	Einrichtungen zum Mengen verändern . . . . .	169
4.3.1	Zuteilen . . . . .	170
4.3.2	Verzweigen und Zusammenführen . . . . .	194
4.3.3	Sortieren . . . . .	197
4.4	Einrichtungen zum Bewegen . . . . .	201
4.4.1	Lineareinheiten . . . . .	201
4.4.2	Schwenkeinheiten . . . . .	213
4.4.3	Dreheinheiten . . . . .	217
4.4.4	Auslegung von Positionierachsen . . . . .	218
4.4.5	Einlegeeinrichtungen . . . . .	223
4.4.6	Portaleinheiten . . . . .	249
4.4.7	Ordnen . . . . .	252
4.4.8	Positionieren . . . . .	272
4.4.9	Weitergeben . . . . .	278
4.4.10	Schwingfördertechnik . . . . .	307
4.5	Einrichtungen zum Sichern . . . . .	334
4.5.1	Werkstückaufnahmen . . . . .	335
4.5.2	Greifer . . . . .	340
4.5.3	Greiferwechseleinrichtungen . . . . .	363
4.5.4	Greifen von Kleinstteilen . . . . .	365
4.5.5	Spanneinrichtungen . . . . .	368
4.6	Kontrolleinrichtungen . . . . .	371
4.7	Bandzuführung . . . . .	378
4.8	Drahtzuführung . . . . .	388
4.9	Schraubenzuführung . . . . .	391
4.10	Kontinuierliche Werkstückzuführung . . . . .	400
4.11	Auswahl von Funktionsträgern . . . . .	402
4.12	Langguthandhabung . . . . .	413
4.12.1	Stangenlademagazine . . . . .	413
4.12.2	Rohr- und Stangenzuführung . . . . .	415
4.13	Hochgeschwindigkeitshandhabung . . . . .	416
<b>5</b>	<b>Flexible Handhabungstechnik . . . . .</b>	<b>420</b>
5.1	Handgeführte Manipulatoren . . . . .	420
5.1.1	Aufgaben und Verordnung . . . . .	421
5.1.2	Funktionen und Baugruppen . . . . .	421
5.1.3	Antrieb . . . . .	428
5.1.3.1	Fluidantrieb . . . . .	428
5.1.3.2	Elektroantrieb . . . . .	430
5.1.4	Gelenkbremsung . . . . .	431
5.1.5	Standsicherheit von Säulengeräten . . . . .	432
5.1.6	Greifer und Lastaufnahmemittel . . . . .	433
5.2	Roboterassistent . . . . .	435
5.2.1	Definition und Einordnung . . . . .	435

---

5.2.2	Funktionsprinzip .....	436
5.2.3	Anwendung .....	439
5.3	Industrieroboter .....	439
5.3.1	Koordinatensysteme .....	443
5.3.2	Bewegungssteuerung und -beschreibung .....	445
5.3.2.1	Vektordarstellung .....	447
5.3.2.2	Frame-Konzept .....	449
5.3.2.3	Beschreiben von Drehungen .....	450
5.3.2.4	Koordinatentransformation .....	451
5.3.2.5	DENAVIT-HARTENBERG-Konvention .....	454
5.3.3	Roboterkinematik .....	455
5.3.4	Programmiertechniken .....	461
5.4	Flexible Werkstückbereitstellung .....	464
<b>6</b>	<b>Transfersysteme .....</b>	<b>473</b>
6.1	Verkettung von Arbeitsmitteln .....	475
6.2	Weitergabe- und Werkstückträgersysteme .....	482
6.3	Werkstückträger .....	495
6.4	Werkstückträger-Schnelleinzug .....	507
6.5	Werkstückträgerführung .....	509
<b>7</b>	<b>Zuführen von Fluiden und Schüttgut .....</b>	<b>518</b>
7.1	Stellen von Stoffströmen .....	518
7.2	Zuführen von Schüttgut .....	524
<b>8</b>	<b>Sicherheitstechnische Anforderungen .....</b>	<b>534</b>
8.1	Gefährdungspotenzial .....	534
8.2	Schutzeinrichtungen und Maßnahmen .....	537
8.3	Lärminderung an Handhabungseinrichtungen .....	545
8.3.1	Stoß- und Schleifgeräusche .....	546
8.3.2	Fallgeräusche .....	547
8.3.3	Schwingungen .....	548
8.4	Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) .....	550
<b>9</b>	<b>Störungen im Werkstückfluss .....</b>	<b>554</b>
<b>10</b>	<b>Vermeidung von Handhabungsschäden .....</b>	<b>559</b>
<b>11</b>	<b>Blechteile automatisch handhaben .....</b>	<b>563</b>
11.1	Funktionskette in der Blechbearbeitung .....	563
11.2	Kompakte Pressenverkettung .....	564

11.3 Platinenzuführvorrichtungen .....	569
11.4 Zuführen von Dünnblechen .....	573

<b>12 Handhabungstechnik beim Gesenkschmieden .....</b>	<b>576</b>
---	------------

<b>Hinweise zum Zusatzmaterial .....</b>	<b>578</b>
--	------------

<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>579</b>
----------------------------------	------------

**Übungsaufgaben, Kontrollfragen sowie Literatur und Quellen  
finden sich am Ende des jeweiligen Hauptkapitels.**

# 1

## Bedeutung und Entwicklung

Die Handhabungstechnik ist eine Querschnittsdisziplin, die sich mit der automatischen Manipulation von Gegenständen vornehmlich im Bereich industrieller Arbeitsplätze befasst. Der Begriff „Handhaben“ ist von der menschlichen Hand abgeleitet, von der wir wissen, dass sie außerordentlich vielseitig ist. Der Begriff taucht bereits in der Antike auf. Der einstige Sklave EPIKTET (50 bis 125 unserer Zeitrechnung) sagte, durch praktische Tätigkeit erleuchtet:

*„Alles hat zwei Handhaben. An der einen ist es tragbar, an der anderen nicht. Fasse die Dinge an, wo sie tragbar sind.“*

Vor Jahren wurden fast ausschließlich Werkstücke automatisch manipuliert, wofür sich auch der Begriff „Werkstückhandhabung“ eingebürgert hat. Mit der Entwicklung der Industrierobotertechnik waren dann auch Werkzeuge per Programm bewegbar. Heute ist „**Handhabung**“ zum Pauschalbegriff geworden. Der Umfang an Handhabungsoperationen ist in der Montage am größten, weil stets mehrere Bauteile und oft auch Werkzeuge nacheinander zu handhaben sind.

### **Handhabung** (*handling*)

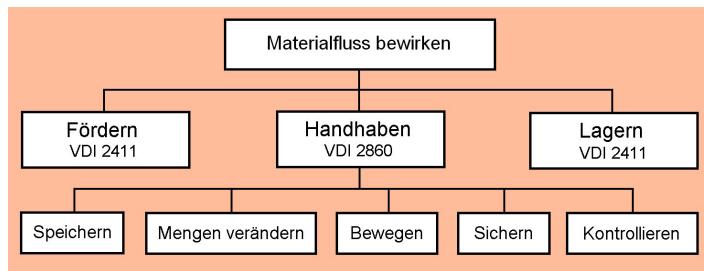
Schaffen, definiertes Verändern oder vorübergehendes Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskoordinatensystem, ohne beabsichtigte Veränderungen am Objekt selbst. Handhabung ist ein Vorgang im Aktionsbereich von Arbeitsplätzen und Fertigungseinrichtungen. Es können weitere Bedingungen vorgegeben sein, wie z.B. Zeit, Menge und Bewegungsbahn.

Bei den Handhabungsgeräten kann es sich um spezielle oder universelle Geräte handeln. Die universellen können manuell oder maschinell gesteuert werden und feste oder programmierbare Abläufe ausführen. Letztere sind für moderne automatisierte Fertigungsprozesse unerlässlich. Dazu gehören die Roboter, aber auch einfachere Geräte, die z.B. Greifer oder Werkzeuge führen können. Oft sind Sensoren integriert, die Wege, Positionen, Geschwindigkeiten, Sequenzen u. a. messen. Immer mehr geht es auch um die Erkennung von Form, Identität und Lage (Position, Orientierung) von Werkstücken. Das Ziel besteht darin, mit Handhabungstechnik den Menschen in der Produktion von monotoner, gesundheitsgefährdender sowie physisch und psychisch anstrengender Tätigkeit zu entlasten.

Es gibt aber auch andere Aspekte: Eine Analyse von rein manuell ausgeführten Montagearbeiten hat eine menschliche **Fehlerrate** von  $1,8 \cdot 10^{-4}$  bis  $1,8 \cdot 10^{-3}$  ergeben. Nur eine Automatisierung kann hier zu deutlichen Verbesserungen führen.

## ■ 1.1 Einführung

Handhaben ist als Teifunktion des **Materialflusses** (*flow of materials*) neben dem Fördern und Lagern integraler Bestandteil aller Abschnitte der Fertigung eines Produkts. Eine erste Zuordnung der Teifunktionen des Handhabens nach VDI (Verein Deutscher Ingenieure) geht aus Bild 1.1 hervor.



**Bild 1.1** Teifunktionen des Handhabens

Aus dieser prozessübergeordneten und teilprozessverbindenden Stellung im Produktionsablauf erwächst dem Handhaben eine zentrale Bedeutung bei der Entwicklung moderner **Fabrikstrukturen**. Diese Erkenntnis ist nicht neu. Bereits 1951 schreibt J. DIEBOLD in seinem Buch „*Automation – The Advent of the automatic Factory*“:

*„Zusätzlich zur Entwicklung flexibler, vollautomatischer Fertigungsmaschinen und von automatischen Materialzuführungsgeräten ist es notwendig, einen Weg zu finden, wie das Produkt automatisch von Maschine zu Maschine gebracht werden kann. Dies ist offensichtlich, dass für vollautomatische Fabriken irgendein Typ von beweglichen und universell einsetzbaren Einrichtungen für die Materialhandhabung notwendig ist.“*

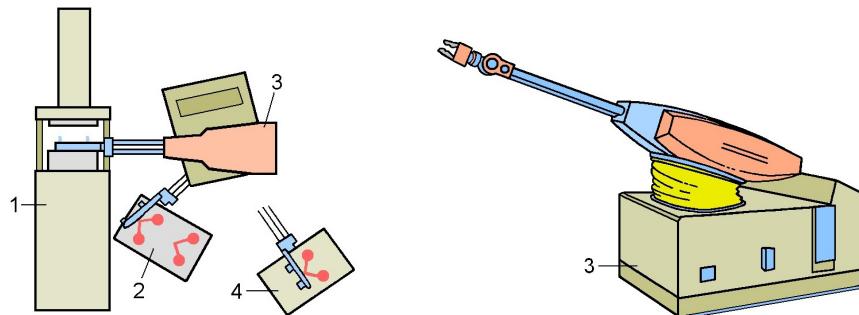
Zehn Jahre später (1961) wurde erstmals freiprogrammierbare Handhabungstechnik industriell eingesetzt. Es war ein Industrieroboter der US-Firma Unimation (U.S.-Patent 2988237), der Druckgussteile in Mehrmaschinenbedienung zu bewegen hatte (Bild 1.2).

Dieser erste Einsatzfall war durchaus überzeugend: Ein Zinkdruckgussteil aus der Maschine übernehmen, in Kühlwasser eintauchen und in die **Entgratepresse** einlegen (500 Stück je Stunde). Oft reicht in solchen Anwendungsfällen die Kapazität des Industrieroboters, um noch eine zweite Druckgießmaschine zu bedienen.

Die Industrieautomation lässt sich ganz allgemein in drei Klassen einteilen:

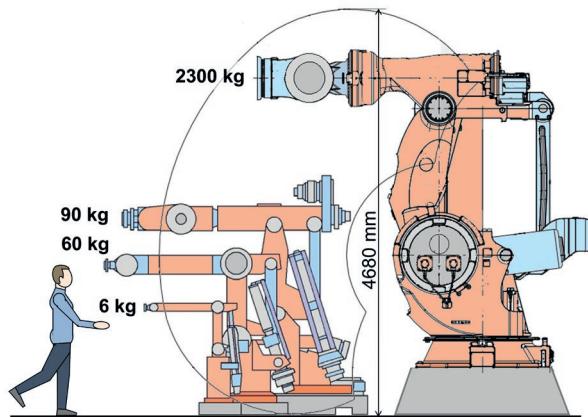
- Automation mit unveränderbarem Funktionsinhalt: Diese ist für die Massenproduktion typisch. Die Produkte erfahren über längere Zeit keine Veränderung.
- Automation mit programmierbaren Automaten: Kleine und mittlere Stückzahlen lassen sich wirtschaftlich fertigen. Die Automaten arbeiten mit einem Programm, das sich veränderten Produkten anpassen lässt. Der Automationsaufwand verteilt sich auf somit auf viele Produkte
- Flexible Fertigungssysteme gruppieren mehrere flexible Maschinen, mit denen eine

Komplettbearbeitung von Teilefamilien in beliebiger Losgröße und Reihenfolge ohne manuelle Eingriffe möglich ist. Typisch ist der Einsatz von Robotern für den Werkstückfluss.



**Bild 1.2** Aufstellplan eines Roboters an einer Druckgießmaschine (Draufsicht), nach UNIMATION [1.1]. 1 Druckgießmaschine, 2 Kühlwasserbecken, 3 Industrieroboter UNIMATE, 4 Entgratepresse

Namhafte Hersteller von Industrierobotern verfügen mittlerweile über Robotertypen für Traglasten von 3 kg bis 1000 kg. Die Firma Fanuc hat eine eigene Baureihe M-2000iA von Schwerlastrobotern im Programm. Der derzeit größte Fanuc-Roboter mit einem Eigengewicht von 11 000 kg kann Werkstücke bis 2300 kg bei einer Reichweite von 4683 mm handhaben.

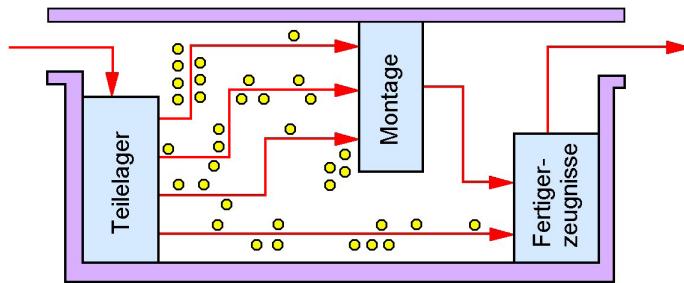


**Bild 1.3** Größenvergleich von Robotern für die Werkstückhandhabung

Der Werkstückfluss lässt sich auch in einen Makro- und einen Mikrobereich einteilen (Bild 1.4). Danach erhält man folgende Zuordnung:

- **Makrobereich:** Innerbetriebliche Bewegung (Fördern) von Arbeitsgut.
- **Mikrobereich:** Handhabung von Arbeitsgut im Bereich eines Arbeitsplatzes.

In der industriellen Fertigungstechnik verschmelzen Fertigungsverfahren, automatische Werkstückhandhabung und Steuerungstechnik letztlich zu einem effizienten Produktionsystem. Das ist das Ziel.



**Bild 1.4** Automatische Werkstückhandhabung (o) im Mikrobereich des Arbeitsplatzes, eingeordnet in den Materialfluss der Produktionseinheit (Makrobereich)

Eine Automatisierung der Werkstückhandhabung ist vor allem aus folgenden Gründen erforderlich:

- Das Zuführen von Werkstücken im Takt einer Maschine ist keine schöpferische Tätigkeit und menschenunwürdig.
- Bei empfindlichen Mikroteilen ist händisches Manipulieren wegen einer Kontamination der Teile meist nicht mehr zulässig (Reinraumtechnologie).
- Die Leistungen der Maschinen sind derart gestiegen, dass manuelles Beschicken aus Gründen der Leistung und Daueraufmerksamkeit nicht mehr realisierbar ist.
- Verschiedene Prozesse (Vakuum, Radioaktivität, Dämpfe in einer Galvanik und andere gefährliche Stoffe) erlauben keine direkte Anwesenheit des Menschen.
- **Handhabungsobjekte** mit extremen Abmessungen (sehr groß, sehr lang, sehr klein) lassen sich nicht ohne Hilfsmittel manuell manipulieren.

Werkstückhandhabung (*workpiece handling*) beschreibt somit den Materialfluss im Mikrobereich eines Arbeitsplatzes, während der Materialfluss in einem Produktionsbereich, gleichsam im Makrobereich, zum innerbetrieblichen Transport gehört.

**Automatisches Handhaben** hat ihren Ursprung in der Massenfertigung, dringt aber nun auch in den Bereich der mittleren und kleinen Stückzahlen vor. Moderne Fertigungsanlagen sind heute ohne selbsttätigen Werkstückfluss nicht mehr denkbar. Viele Geräte sind allerdings nicht flexibel und nur für einen einzigen Anwendungsfall verwendbar. Die Entwicklung von Mikroelektronik, Sensorik und Bildverarbeitung führte allmählich zu einer Verschiebung der Teilfunktionen von der Hardware zur Software und damit zu einer gewissen Flexibilität. Aktuelle Beispiele sind Roboteranwendungen in den unterschiedlichsten Branchen. Der Einsatz von Industrierobotern hat allerdings nicht die Ablösung einiger konventioneller **Zubringeeinrichtungen** zur Folge. Diese werden in der Massenproduktion und häufig in der Peripherie eines Roboterarbeitsplatzes benötigt.

Werden Werkzeuge gehandhabt, dann gehört der Ablauf zum wertschaffenden Hauptprozess. Beschicken und Zuführen kann dagegen nur als Hilfsprozess betrachtet werden. Die Handhabungsvorgänge wirken in diesem Fall nicht werterhöhend. Sie sind daher auf das geringste mögliche Maß zu beschränken, insbesondere dort, wo die menschliche Arbeitskraft noch in Anspruch genommen werden muss [1.2].

Im Rahmen dieses Buches wird die Handhabung von Schüttgut und als Ausnahme auch die Zu- bzw. Abführung von Stoffen (Späne, pneumatische Förderung von Produktionsresten u. a.) und Medien, kurzgefasst behandelt.

### **Arbeitsgut (goods, working material)**

Alle Stoffe, Halzeuge, Roh- und Fertigteile, die im Be- oder Verarbeitungsprozess vorkommen, bearbeitet, verarbeitet, montiert und kontrolliert werden. In der Handhabungstechnik geht es um definiert geformtes, also geometrisch bestimmtes Gut, für das ein körpereigenes Koordinatensystem definiert werden kann.

Man kann die Werkstückhandhabung an industriellen Arbeitsplätzen in verschiedene **Technisierungsstufen** einteilen. Welche Stufe man wählen soll, hängt von wirtschaftlichen, ökologischen, qualitativen und quantitativen Anforderungen ab [1.3, 1.4].

#### **Stufe 1**

Alle notwendigen Funktionen werden von Hand ausgeführt. Eingesetzte Hilfsgeräte, z. B. ein Hubtisch, führen keine Zubringefunktionen im Sinne der Definition aus.

#### **Stufe 2**

Die Handhabung wird durch einfache technische Mittel erleichtert. Beispiel: Das Eingeben von Blechteilen in eine Presse erfolgt mit einem handbetätigten Wechselschieber für die Ein- und Ausgabe der Blechzuschnitte.

#### **Stufe 3**

Eingeben und Ausgeben der Werkstücke geschehen automatisch. Das Ordnen und Zuteilen aus einem gebunkerten Vorrat wird noch von Hand ausgeführt. Die Arbeitskraft ist an den Takt der Maschine gebunden.

#### **Stufe 4**

Zuteilen und Eingeben von Teilen in eine Maschine erfolgen automatisch. Das Ordnen und das Füllen von Magazinen verbleiben noch als Handarbeit. Das Ausgeben geschieht ebenfalls automatisch. Die Bedienungsperson ist jedoch unabhängig vom Arbeitstakt der Maschine.

#### **Stufe 5**

Alle notwendigen Zubringefunktionen (siehe dazu Kap. 3) werden von Zubringeeinrichtungen maschinell ausgeführt. Die Funktionen werden automatisch überwacht. Die Werkstücke werden in der Regel automatisch geordnet, wenn sie nicht extrem kompliziert oder empfindlich sind.

#### **Stufe 6**

Das Zubringegut liegt als Fließgut (Band, Draht, Materialbahnen, u. a.) bzw. Quasifließgut (Stangen, Rohre, Trägerband mit aufgeklebten Einzelteilen und Transportlochung, Materialstreifen) vor. Das erübrigt das Ordnen und erfordert im Allgemeinen weniger **Zubringefunktionen** als bei Stückgut.

## Stufe 7

Mehrere Bearbeitungs- bzw. Montagestationen sind miteinander verkettet, wie z.B. ein Stufenwerkzeug in einem Stufenumformautomaten. Es werden Band- und Flachgreifer-Vorschubeinrichtungen eingesetzt. Die starre (feste) Verkettung ergibt kurze Transportwege. Der Ablauf ist vollautomatisiert. Fortentwicklungen führen zunehmend zu flexiblen Teilsystemen.

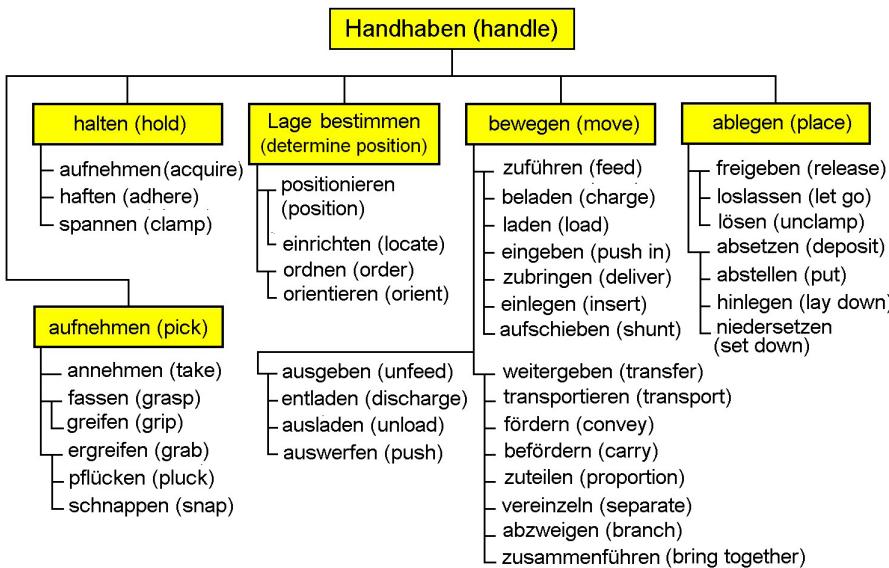
Zur Abgrenzung von Zuführeinrichtungen gegenüber Fördermitteln kann man auch eine Einteilung in 4 Stufen vornehmen [1.5]. Zubringe- bzw. Zuführeinrichtungen bewirken danach den Materialfluss innerhalb einer Produktionseinrichtung in der vierten Stufe. Die erste Stufe beinhaltet den außerbetrieblichen Materialfluss. In der zweiten Stufe wird das Material zwischen einzelnen Betriebsbereichen transportiert. Unter der dritten Stufe versteht man die **Verkettung** einzelner Produktionseinrichtungen zu Arbeitslinien.

Die Aufgabe der Werkstückhandhabung besteht zusammengefasst darin, Handhabungsobjekte meistens in sehr kurzen Zykluszeiten in vorgegebener Anzahl, in definierter Orientierung, an einer vorbestimmten Position und in einer festgelegten Zeitfolge zur Verfügung zu stellen und meistens auch aus der Maschine wieder zu entfernen. Dafür sind auch die Begriffe „Zuführprozess“, „Zubringen“ oder „Beschicken“ in Gebrauch.

**Beschicken:** Vorgang, um Arbeitsgut zeit- und mengengerecht in die Wirkzone einer Bearbeitungsmaschine zu bringen und die Fertigteile wieder zu entnehmen. Das kann mit einem spezialisierten Handhabungsgerät erfolgen oder mit einem programmierbaren Gerät, z.B. mit einem Beschickungsroboter.

**Wirkzone (limits of reach):** Ort, an dem Stoff-, Energie- und Informationsfluss zusammengeführt werden, um einem Stoff mit Hilfe von Energie eine Information „aufzuprägen“.

In der sprachlich-kommunikativen Tätigkeit und in Fachtexten werden viele Begriffe für das Handhaben und für angelagerte ähnliche Funktionen verwendet. Besonders für Einsteiger ist die Begriffsvielfalt verwirrend, noch dazu, wenn fremdsprachige Literatur ausgewertet wird. In Bild 1.5 wird gezeigt, wie man fachlexikalische Einheiten zur Benennung des Handhabens hierarchisch gliedern kann [1.5]. Man sieht, dass *to pick* und *to place* als Komplementärpaar die Endstellen einer **Bewegungssequenz** kennzeichnen. *To pick* impliziert ein Organ zum Aufnehmen und Hochheben eines Objekts und *to place* bedeutet gezieltes Ablegen an einem festgelegten Ort.

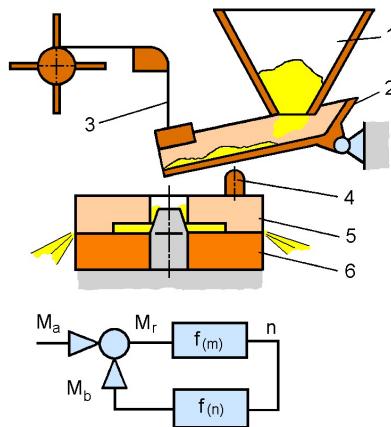
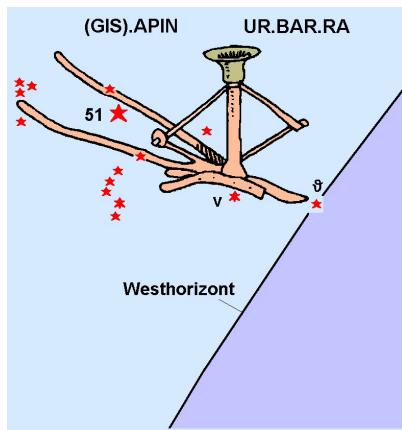


**Bild 1.5** Lexemparadigma „Handhabungsoperationen“

## ■ 1.2 Geschichtlicher Rückblick

Bereits vor 4400 Jahren hatten die Chaldäer recht moderne Vorstellungen vom Sternenhimmel. Im Sternbild APIN, das der astronomischen Keilschriftserie MUL.APIN den Namen gegeben hat, ist auch ein Saatrichter dargestellt, genannt UR.BAR.RA (Bild 1.6 links). Das ist die wohl älteste Zuführeinrichtung. Sie wurde an einen hölzernen Pflug angebaut, der von einem Ochsen gezogen wurde. Diese Entwicklung orientierte sich am Bedarf einer verbesserten Saatgutausbringung.

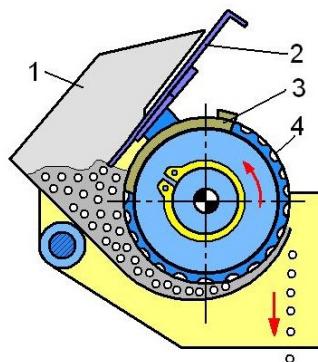
Im Mittelalter beschreibt der Kriegsingenieur des Königs HEINRICH III. von Frankreich, AGOSTINO RAMELLI (um 1531–1608), in einem großen Maschinenbau-Buch (1588) die Zuführung (*feed*) von Getreidekörnern zum Mahlstein. Dieser Vorgang war bereits auf rein mechanische Art in einen **Regelkreis** eingebunden: Je schneller sich der Mahlstein dreht, desto kräftiger läuft der Körnerstrom (Bild 1.6 rechts), weil die Schwingfrequenz ansteigt.



**Bild 1.6** Saatrichter und Mühlenhüpfer als historische Zuführgeräte.

1 Bunker, 2 Rüttelschuh, 3 Halteseil, 4 umlaufender Nocken, 5 rotierender Mahlstein, 6 feststehender Mahlstein,  $M_a$  Antriebsmoment,  $M_b$  Bremsmoment,  $M_r$  Reibmoment,  $n$  Drehzahl

Das selbstaufende Zuteilen von Saatkörnern ist auch heute keine leichte Aufgabe. Der Bunker soll sich vollständig entleeren lassen. Bei teuren Feinsämereien dürfen keine Restmengen zurückbleiben und dann soll alles auch in Hanglage funktionieren. Das Bild 1.6 zeigt eine moderne Zuführeinrichtung für Saatgut im Querschnitt. Der Säradeinschub beeinflusst die Ausbringleistung und am Särad sind mehrere Reihen mit Kavitäten („Nocken“) nebeneinander angeordnet, um eine bestimmte Arbeitsbreite zu bekommen.

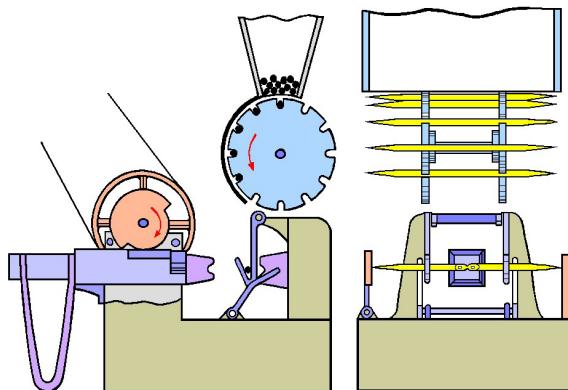


**Bild 1.7** Saatgutzuführeinrichtung.

1 Bunker, 2 Spaltschieber, 3 Säradeinschub, 4 Särad mit Kavitäten

In der Mitte des 19. Jahrhunderts findet man bereits an Drehautomaten zur Herstellung von Holzschrauben Zuführeinrichtungen (1865). Viele Zubringeeinrichtungen wurden zuerst für **Massenprodukte**, wie z. B. Nähnadeln, Knöpfe, Patronenhülsen, Schrauben, Münzen, Glühlampen und Bleistifte entwickelt. Stellvertretend zeigt das Bild 1.8 eine Nadelprägevorrichtung (Prägen von Rille und Öhr) mit selbstaufriger Zuführung (1871). Weitere Beispiele sind:

- 1786 Handling von Ronden an Münzprägepressen (J.P. DROZ)
- 1871 Spann- und Vorschubeinrichtung an Drehautomaten von PARKHURST
- 1873 SPENCER (USA) baut Drehautomaten mit Magazinzuführung
- 1880 WORLEY fertigt Revolverdrehautomaten mit Stangenzuführung
- 1923 MORRIS MOTORS (England) nimmt mechanisch gesteuerte Taktstraße in Betrieb
- 1924 Rundtaktmaschinen mit automatischer Teilezuführung (Glühlampenfertigung in Deutschland)

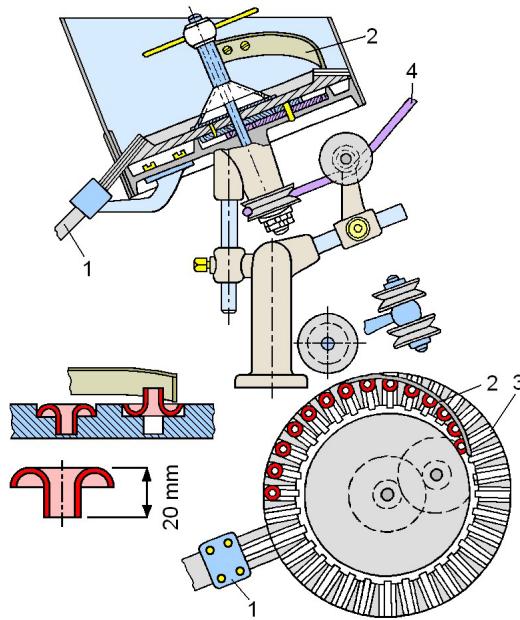


**Bild 1.8** Nadelprägemaschine mit automatischer Teilezuführung vom Mechaniker KAISER aus Iserlohn (1871)

Automatisches Fertigen und Handhaben wurde beträchtlich durch die Entwicklung von **Transferstraßen** in der Automobilindustrie vorangebracht. Allein die Firma Renault hat in Frankreich in den Jahren von 1946 bis 1954 über 600 Taktstraßen gebaut. Fließfertigung erfordert auch die arbeitsorganisatorische Bewältigung der Arbeitsteilung, eine wesentliche Voraussetzung für eine Automatisierung in der Fertigungstechnik.

Ein weiteres Beispiel ist die Zuführung von Hohlnieten in der Schuh- und Lederwarenindustrie. Das Bild 1.9 zeigt dazu eine **Bunkerzuführeinrichtung**. Das gebunkerte Gut fällt in die eingefrästen Gleitrinnen eines Drehtellers. Teile in falscher Orientierung werden von einer Flachfeder abgestreift und fallen wieder in den Bunker zurück. Richtiglagenteile gelangen bis zur Auslaufschiene und gleiten ab. Man erreichte damit bei einer Belegung der Nuten mit 80% und zwei Teilen je Nut sowie einer Drehzahl des Drehtellers von etwa  $n = 1,5$  Umdrehungen je Minute eine Ausbringung von 8600 Teilen je Stunde.

Mit steigenden Produktionszahlen wuchs auch im Maschinenbau das Interesse an automatisierten Werkstückzuführungen. Bereits in den 1930er Jahren hat man sich Gedanken gemacht, mit welchen technischen Hilfen die Teilezuführung in der Massenfertigung erledigt werden kann (Bild 1.10) und welche Details den Vorgang begünstigen könnten oder den Vorgang unsicher machen (Bild 1.11).



**Bild 1.9** Zuführeinrichtung für Hohlniete in der Lederwarenbranche (um 1940).  
 1 Auslaufschiene, 2 Abstreiffeder für falsch liegende Teile, 3 Drehteller mit 60 Nuten, 4 Antriebsriemen, Rundriemen

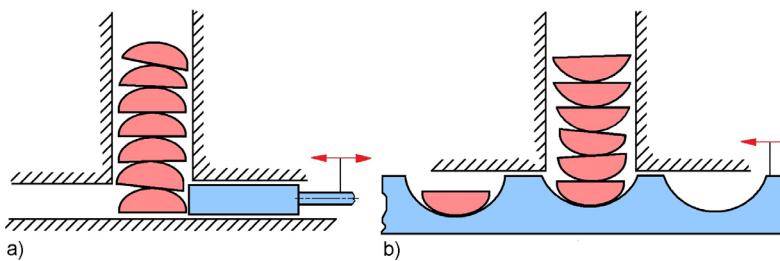
Herkt, Werkstückzuführung durch Magazine, Zeitschr. Masch./Betrieb 13 (1934), Nr. 17/18.  
 Herkt, Selbsttätige Werkstückzuführung, Zeitschr. Masch./Betrieb 14 (1935), Nr. 1/2.  
 Seiler, Das Zuführen und Gleichrichten von Werkstücken, Zeitschr. Die Werkzeugmaschine (1930), Heft 8 und 9.

**Bild 1.10** Fachaufsätze dokumentieren die Beschäftigung mit der Handhabungstechnik schon in den 1930er Jahren

Man gliederte z. B. das technische **Wirkprinzip** für das Zuteilen wie folgt:

- Teilezuführung (Vereinzeln) mit Schieber
- Teilezuführung durch Drehteller
- Teilezuführung durch Drehtrommel
- Teilezuführung nach dem Schöpfprinzip
- Teilezuführung mit Saugluft
- Teilezuführung mit Elektromagnet

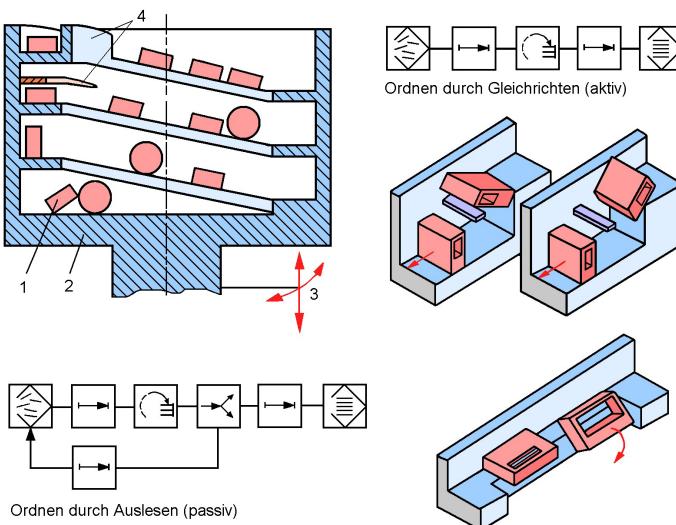
Damit waren die Anfänge einer **Verhaltenslehre** für Werkstücke begründet.



**Bild 1.11** Entstörung eines Vereinzlers durch richtige Wahl des Zuteilelements.

a) Störungen durch ungünstige Teileform, b) Nachteile behoben durch endlose Muldenkette

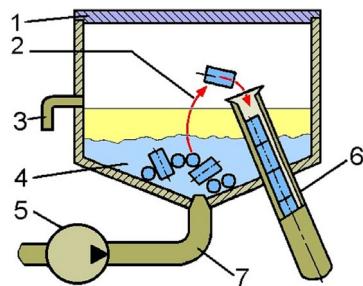
Um den komplexen Vorgang unterschiedlicher Handhabungsabläufe besser transparent zu machen und rationeller gestalten zu können, wurden in den 1950er Jahren Teilfunktionen abgegrenzt und Symbole dafür entworfen, mit denen besser geplant und das Projekt durchdacht werden konnte. In Bild 1.12 wird das Ordnen von Kleinteilen im Vibrationswendelbunker mit Hilfe von Symbolen als Beispiel dargestellt. Als Kleinteile sollen hier Objekte mit umhüllenden Quaderkantenlängen  $50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$  verstanden werden. Während des Hochförderns durch Schwingungen berühren die Teile **Ordnungselemente** (Schikanen) und richten sich selbstdrägtig aus. Das geschieht in mehreren Schritten. Werden alle Teile zwangsweise ausgerichtet, dann liegt **aktives** Ordnen vor; werden Falschlagenteile lediglich ausgesondert, so spricht man vom **passiven** Ordnen. Diese Technik und die eingesetzten Geräte werden in den Kap. 4.4.3 und 4.4.6 ausführlich behandelt.



**Bild 1.12** Die Hauptprinzipien des Ordens von Kleinteilen im Vibrationswendelförderer.

1 Werkstück, 2 schwingender Wendelaufsatz, 3 Hub-Dreh-Schwingungen, 4 Ordnungselement

Aus den 1970er Jahren stammt die in Bild 1.13 gezeigte Orientierungseinrichtung, bei der ein periodischer **Druckölstrahl** Werkstücke hochreißt, die im günstigen Fall das Auffangrohr finden und somit geordnet sind. Der Ölstrahl geht über den Ölbadspiegel hinaus. Im Auffangrohr werden die Teile – kleine und einfache Zylinderteile – durch Schwerkraftwirkung abgeführt. Es gibt auch Lösungen auf der Basis von Druckluftdüsen mit periodisch zugeführter Luft. Heute hat man leistungsfähigere Ordnungseinrichtungen zur Verfügung. Überdies ist die Benetzung mit Öl in der Regel unerwünscht.

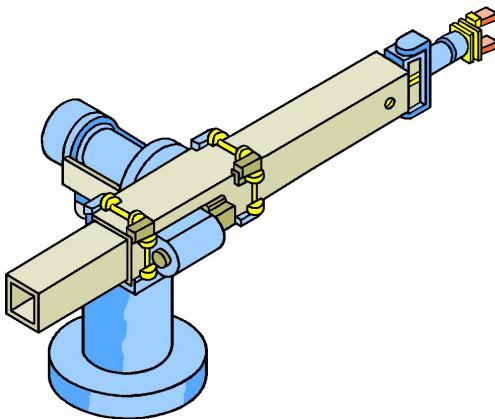


**Bild 1.13** Ordnen kleiner Zylinder aus einem Ölbad  
(nach BOOTHROYD und LUND 1979).

1 Bunker, 2 Flugbahn der Teile, 3 Ölüberlauf, 4 Ölsumpf,  
5 Druckölpumpe, 6 Auffangrohr, 7 Ölleitung mit Düse

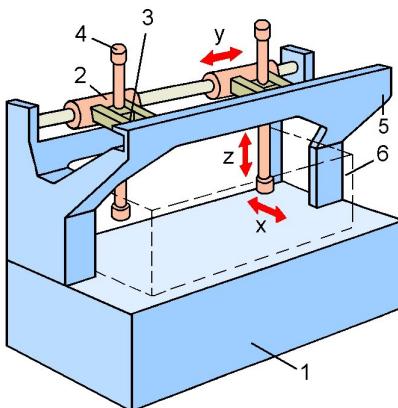
Für das flexible Handhaben wurden die Industrieroboter entwickelt. Flexibel und programmierbar ist allerdings nur der Bewegungsablauf des Effektorführungsgetriebes (Manipulator, Roboterarm). Wichtige Etappen dieser Entwicklung waren:

- 1945 Entwicklung von **Master-Slave-Manipulatoren** (Fernhantierungstechnik) für den Einsatz in der Kerntechnik
- 1954 G. C. DEVOL (USA) entwirft eine Maschine zum „Programmierten Transport von Gegenständen“ (Industrieroboter) und erhält 1961 das Patent
- 1957 Patenterteilung zur Robotertechnik an den Briten C. W. KENWARD
- 1959 Erster kommerzieller Roboter von Planet Corporation (gesteuert über Kurvenscheiben und Endtaster)
- 1961 Einsatz des freiprogrammierbaren Roboters „Unimate“ bei der Ford Company
- 1966 Die norwegische Firma Trallfa baut und installiert den ersten Farbspritzroboter für die Farbgebung von Schubkarren.
- 1966 D. A. STEWART stellt eine Plattform mit Freiheitsgrad 6 vor, die später auch als Basiskonstruktion für Parallelroboter Verwendung finden wird.
- 1968 Erster mobiler Roboter („*Shakey*“) mit Bilderkennung der Umgebung und Tastsensoren für Forschungszwecke (Stanford Research Institute). *Shakey* gilt als der Anfang der modernen Robotik und der automatischen Planung von komplexen Aufgaben.
- 1969 K. SCHEINMAN vom Stanford Research Institute (USA) entwickelt einen Sechсachsen-Gelenkarmroboter von hoher Präzision, mit elektrischen Antrieben und Computersteuerung. Der Stanfordarm bzw. Scheinmanarm (5 kg Tragkraft) mit Freiheitsgrad 6 (RRT/RRR; R Rotation, T Translation) wird in Bild 1.14 gezeigt.



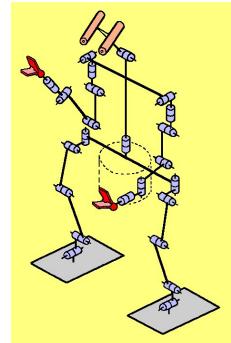
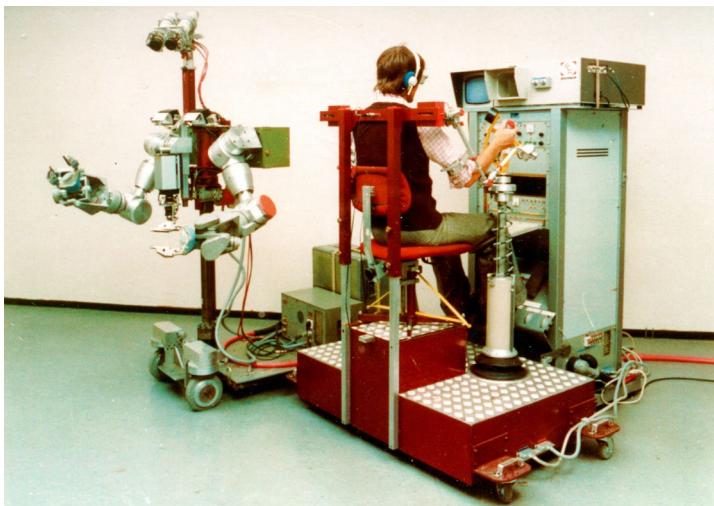
**Bild 1.14** Stanfordarm, entwickelt von VICTOR SCHEINMAN (1969)

- 1969 Kawasaki Heavy Industries entwickelt den ersten japanischen Industrieroboter
- 1970 Die ersten Industrieroboter arbeiten in Europa.
- 1970 Entwicklung des **SCARA-Roboters** durch H. MAKINO (Japan) und
- 1985 erste Installation in der japanischen Elektroindustrie (um 1985)
- 1974 Die Firma ASEA stellt einen vollständig elektrisch angetriebenen Roboter her.
- 1975 Olivetti-Roboter „Sigma“ (Italien); erste Anwendungen in der Montage (Bild 1.15).



**Bild 1.15** Aufbau eines Montageroboters mit kartesischem Arbeitsraum (SIGMA, Olivetti, Italien).  
1 Gestell, 2 Linearchase, 3 Querachse, 4 Hubachse, 5 Portal, 6 Arbeitsraum

Bereits 1969 wurde ein **anthropomorph**-tradierter Handhabungsautomat von Prof. KLEINWÄCHTER aus Lörrach (Bild 1.16) entwickelt. Das zweiarmige Gerät sollte später anstelle des Radfahrwerks noch Beine bekommen. Man dachte an einen Einsatz in der Montage nach Stereosicht und mit sensorisierten Händen. Werden die auf Magnetband gespeicherten programmierten Weginformationen der Maschine mit Freiheitsgrad 9 immer wieder vorgespielt, dann wird aus dem **Telemanipulator** ein menschenähnlicher Industrieroboter. Die Konstruktion war der Zeit weit voraus und hatte noch keine Chance, zu einem freiprogrammierbaren und industrietauglichen Arbeitsmittel aufzusteigen.



**Bild 1.16** Anthropomorpher Teleoperator „Syntelmann“ (1969) mit Bedienstand und Skelettaufbau (KLEINWÄCHTER)

#### Telemanipulator (*telemanipulator*)

Vom Menschen ferngesteuertes Gerät (Manipulator) mit Arm und Hand (Greifer) zur Manipulation von Objekten an einem entfernten Ort, an dem direktes menschliches Handhaben schwierig, unerwünscht oder gefährlich ist.

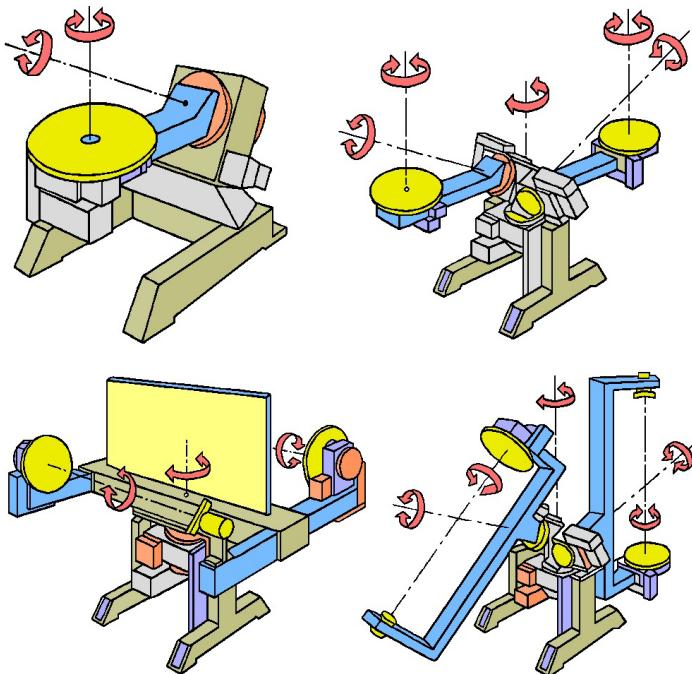
#### Manipulator (*manipulator, workpiece manipulator*)

Handgesteuerte mechanische Bewegungseinrichtung, vornehmlich für Handhabungsaufgaben. Auch ein segmentierter und automatisch gesteuerter Roboterarm wird als Manipulator bezeichnet.

#### Teleoperator, anthropomorpher (*anthropomorphic teleoperator*)

Mobile ferngesteuerte Bewegungsmaschine, die dem Skelett des Menschen nachempfunden ist. Einzelne Bewegungssequenzen können auch vorprogrammiert sein. Der Bediener ist rückkoppelnd in den Bewegungsablauf eingebunden.

Der Roboter selbst stellt allein noch keine wirtschaftliche Prozesslösung dar, d.h. eine dem Bedarfsfall angepasste **Peripherie** ergibt erst den wirtschaftlichen Arbeitsplatz. Ein wichtiger Bestandteil insbesondere beim Einsatz von Schweißrobotern sind die Positionierer. Das sind mit ein bis drei Achsen ausgestattete Handlingseinheiten, die eine Schweißbaugruppe jeweils in eine optimale prozessgünstige Position und Orientierung bringen. Die Schweißteile werden mit Spannmitteln auf Drehtellern befestigt. Die Bewegungen laufen hochdynamisch automatisch ab. Es gibt Baugrößen bis z.B. 4000 kg Traglast, außerdem auch Wechseltische, sodass gleichzeitig während des Schweißens das Entspannen und Aufspannen der Schweißteile zeitparallel erfolgen kann. Das Bild 1.17 zeigt einige typische Ausführungen. Hierfür kommen meist modulare Antriebseinheiten aus dem Roboterbau zum Einsatz.

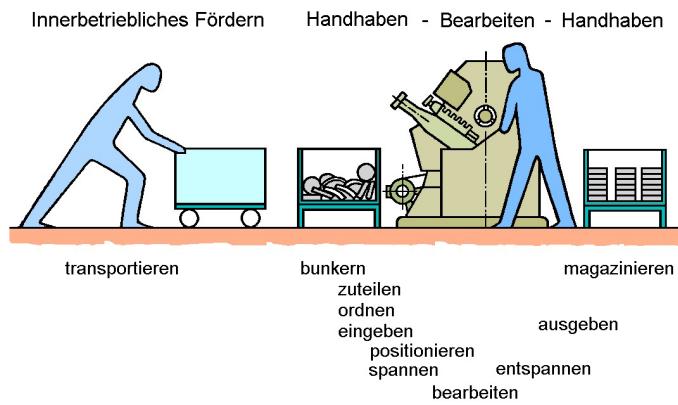


**Bild 1.17** Gestaltungsbeispiele für die Peripherie an Schweißroboterarbeitsplätzen in Form von Kipp- und Drehtischen (*positioner*)

## ■ 1.3 Handhabungstechnik im Produktionssystem

Prozessorientiertes Handhaben von Objekten ist ein wesentlicher Bestandteil der meisten Industrieprozesse. Die Handhabungstechnik hat somit technische Einrichtungen zum Gegenstand, die unter anderem Bewegungen in mehreren Raumachsen ähnlich den Arm-Hand-Bewegungen des Menschen ausführen können. Mit dem technischen Fortschritt kommt es zu einer allmählichen Ablösung des Menschen aus manuellen Handhabungen. Aus der Analyse typischer Handhabungsvorgänge (Bild 1.18) fand man schließlich eine Einteilung in Funktionen und Teilfunktionen und die Zuordnung zu Funktionsträgern. Danach kann man die **Handhabungsgeräte** nach VDI 2860 einteilen in:

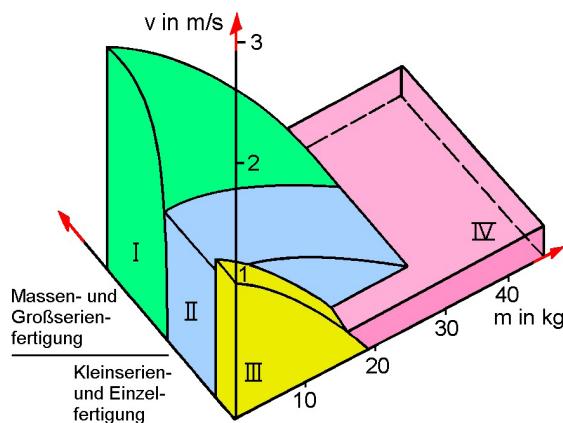
- manuell gesteuerte Bewegungseinrichtungen, wie Manipulatoren, Tele- und Master-Slave-Manipulatoren (*master-slave-manipulators*) sowie
- programmgesteuerte Bewegungsautomaten, wie festprogrammierte Einlegegeräte (*pick & place unit*, *pick & place robot*) und frei programmierbare Industrieroboter (*industrial robot*).



**Bild 1.18** Typische Handhabungsvorgänge in der Teilefertigung [1.7]

Aus der Sicht sozialer Aspekte sind solche Tätigkeiten interessant, bei denen durch den technischen Fortschritt (Maschinenleistung) auch die Belastung des Menschen ansteigt. Dadurch werden die Grenzen der Verfahren und Prozesse durch die Arbeitskraft bestimmt. Das betrifft vor allem die Handfertigkeit sowie seine physische Leistungsfähigkeit im Hinblick auf Arbeitsgeschwindigkeit, Tragfähigkeit, Arbeitsdauer, Gleichmäßigkeit und Arbeitsgenauigkeit. Solche Grenzen lassen sich mit automatischen Handhabungseinrichtungen überwinden. Daraus ergibt sich natürlich auch, dass die Handhabungsmaschinen sehr unterschiedlich sein müssen. Sie reichen vom **Balancer** (manuell geführter Manipulator) bis zum autonomen mobilen Roboter. Stellt man Mensch, Sondermaschine (Automat) und Industrieroboter in ihren Leistungsgrenzen gegenüber, so erhält man das in Bild 1.19 gezeigte Tendenzdiagramm. Handhabungsmaschinen füllen die Lücke zwischen Mensch und Sondermaschine, wie man sieht.

In der Produktion werden für jeden Fertigungs- und Montageprozess Halbzeuge, Materialien, Bauteile oder Baugruppen für eine weitere Verarbeitung benötigt. Viele Produkte werden aus mehreren Komponenten sequentiell zusammengesetzt. Die müssen für den jeweiligen Prozess bereitgestellt werden und zwar in einer definierten Orientierung und Position an geplanten Arbeitsstellen.



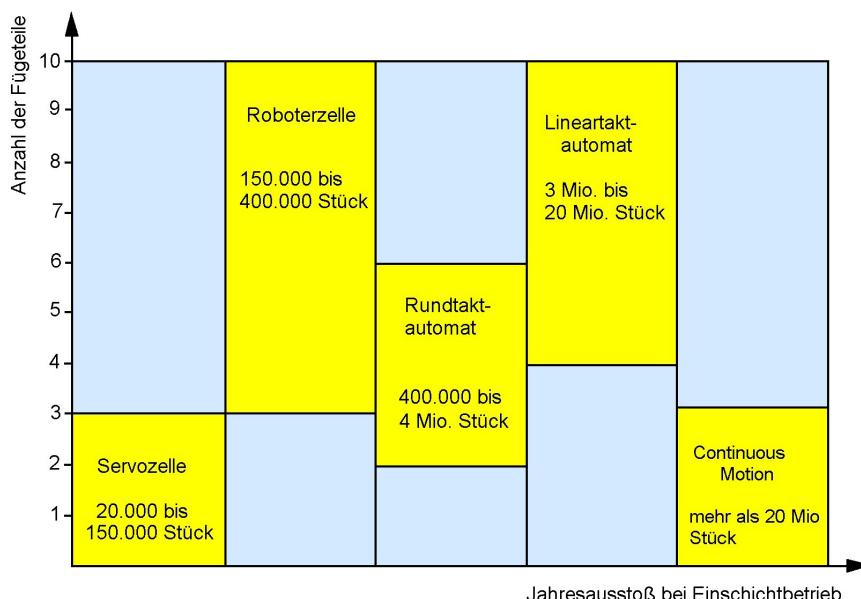
**Bild 1.19** Leistungsgrenzen von Mensch, Industrieroboter und Sondermaschine (siehe auch Kap. 4.13). I Sondermaschinen, II Roboter, außer Deltaroboter, III Handarbeit, IV Handarbeit mit Unterstützung von Hilfsvorrichtungen,  $m$  Werkstückmasse,  $v$  Arbeitsgeschwindigkeit

Zur Verbesserung der Werkstückhandhabung kann man einen **Kriterienplan** mit den zu fordernden Zielen zusammenstellen, aus denen man dann abgeleitete Ziele generieren kann (Tabelle 1.1).

**Tabelle 1.1** Kriterienplan zur Verbesserung des Werkstückhandlings

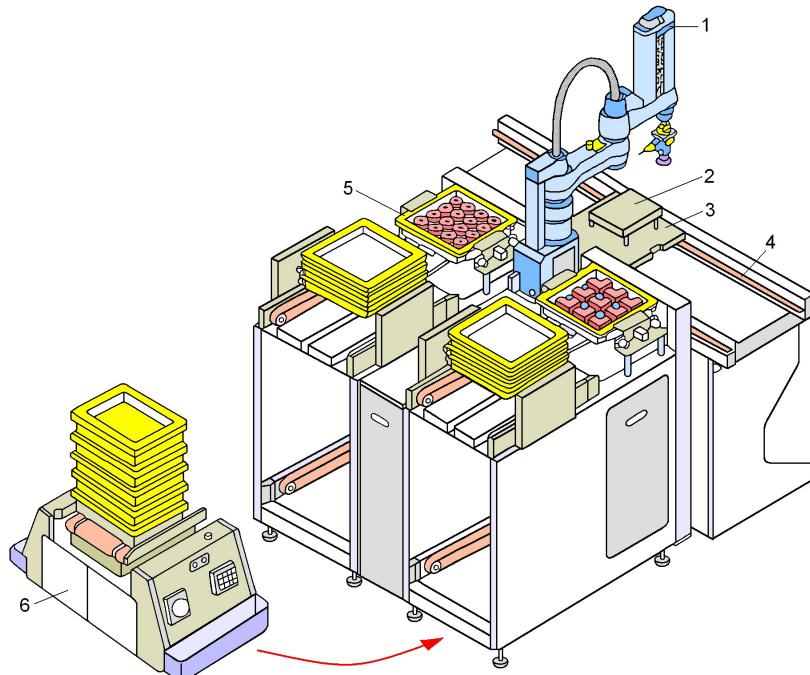
Hauptziel	abgeleitete Einzelziele
geringer Handlingaufwand	Vereinheitlichung des Werkstückdesigns; Standardisierung der Aufnahme- und Spannflächen; Beibehaltung der Werkstückordnung; Zusammenfassung mehrerer Werkstücke in einem Ganzen
Flexibilität der Zubringeeinrichtungen	Vermeidung werkstückspezifischer Zubringeeinrichtungen; Verwirklichung des Zubringens aus Baukastenelementen
exakter Materialfluss	geordnete Speicherung; zeitlich und örtlich genaues Weitergeben
maximale Maschinenauslastung	Ausführung der Zubringefunktionen während der Maschinennutzungszeit
Möglichkeit zur Verkettung der Maschinen	Standardisierung der Aufnahme- und Spannmittel; Beibehaltung einer relativen Werkstückordnung

Die Leistungsfähigkeit verschiedener technischer Konzepte für die Montage wird in Bild 1.20 veranschaulicht. Ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl ist auch die spätere Ausbaufähigkeit. Sie ist bei Rundtaktanlagen nicht möglich, bei Lineartaktanlagen sind zusätzliche Stationen eher einsetzbar. Als **Servozelle** bezeichnet man eine einzelne halb-automatische Montagezelle.



**Bild 1.20** Leistungsbereiche verschiedener Montageanlagen

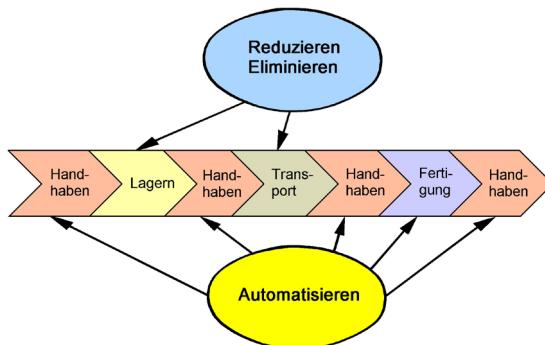
In Bild 1.21 wird eine **Montagezelle** gezeigt, die in den Materialfluss über ein fahrerlos laufendes Flurförderzeug eingebunden ist. Die Übergabe der Palettenstapel mit den Fertigbaugruppen oder der Leerpaletten erfolgt selbsttätig. Interne Hubsysteme bewegen die Palettenstapel.



**Bild 1.21** Robotergestützte Montagezelle (*Hirata*).

1 Scara-Roboter, 2 Montagebaugruppe, 3 Werkstückträger, 4 Doppelgurtförderer,  
5 Trays für Montageteile, 6 selbstfahrendes Flurförderzeug

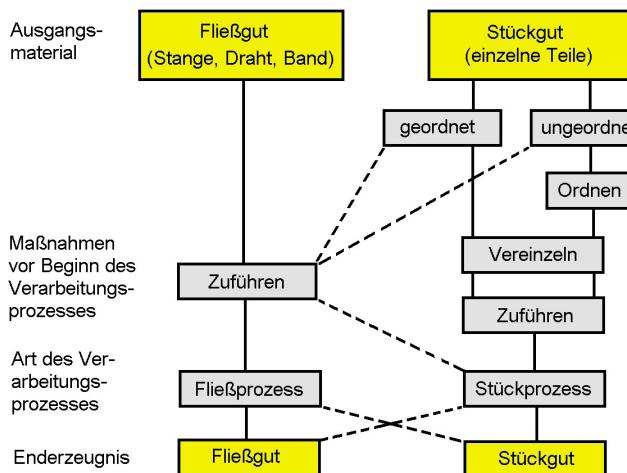
Zum Zeitpunkt der Herstellung sind die Werkstücke in Orientierung und Position fast immer bestimmt. Dieser Zustand sollte unter dem Aspekt der Wertschöpfung nicht mehr aufgegeben werden. Das wird aber trotzdem aus Kostengründen nicht immer eingehalten, weil die Logistik für Teile in Magazinen sowie Leertransporte neben einer aufwendigen Entnahmetechnik aus dem Fertigungsprozess oft wesentlich aufwendiger als das Neuorientieren ist. Man muss im Einzelfall herausfinden, welcher Automatisierungsgrad aus technischen und wirtschaftlichen Gründen erstrebenswert ist (Bild 1.22).



**Bild 1.22** Ziele bei der Handhabung von Material und Gegenständen im Prozessablauf

Generell hat zu gelten: Erst Abläufe vereinfachen und dann automatisieren! Was wegfallen kann, muss nicht aufwändig automatisiert werden. Außerdem muss die noch zu installierende Zuführtechnik derart sicher sein, dass gewonnene Arbeitszeit nicht wieder in die Entstörung der Zuführgeräte eingesetzt werden muss. Ein weiteres übergeordnetes Ziel ist die Prozessgeschwindigkeit. Zuführtechnik muss den erhöhten Geschwindigkeiten entsprechen und ausfallsicher funktionieren.

Weiterhin hat die Art des Prozesses Einfluss auf das handhabungstechnische Equipment. Nach dem Charakter des zu bearbeitenden Stoffes unterscheidet man **Fließ- und Stückprozesse**. Das Bild 1.23 zeigt dazu eine Gliederung der Ver- bzw. Bearbeitungsprozesse. Zur Automatisierung eignet sich Fließ- bzw. Quasifließgut z.B. Stangen, Drähte, Rohre, Trägermaterial mit aufgeklebten Einzelteilen, Bänder, aber auch flüssige, pulverförmige oder gasförmige Stoffe weitaus besser als Stückgut.



**Bild 1.23** Gliederung der Be- und Verarbeitungsprozesse

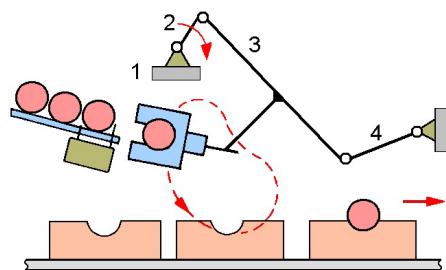
**Stückgut** (*piece goods*) muss zu einem bestimmten, auf die periodisch bewegten Werkzeuge abgestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle der Maschine sein. Ein Stückprozess stellt deshalb an die Einrichtungen für die Werkstückbewegung viel größere

Anforderungen als ein Fließprozess. Außerdem muss das zu verarbeitende Stückgut geordnet und vereinzelt werden, bevor es in die Wirkzone eingeführt werden kann.

Wird Fließgut (*flow material*) in einem Fließprozess verarbeitet, so kann das Endergebnis Fließ- oder Stückgut sein. So ist z.B. beim Drahtziehen der Ausgangsstoff **Fließgut** und auch das Enderzeugnis ist Fließgut. Demgegenüber ist beim Streifenschneiden mit umlaufenden Messern der Ausgangsstoff Fließgut, das Enderzeugnis aber Stückgut. Stückgut kann ebenfalls in einem Fließprozess verarbeitet werden, z.B. in einem Härteofen mit durchlaufendem Förderband. Das Enderzeugnis bleibt dann meistens **Stückgut**.

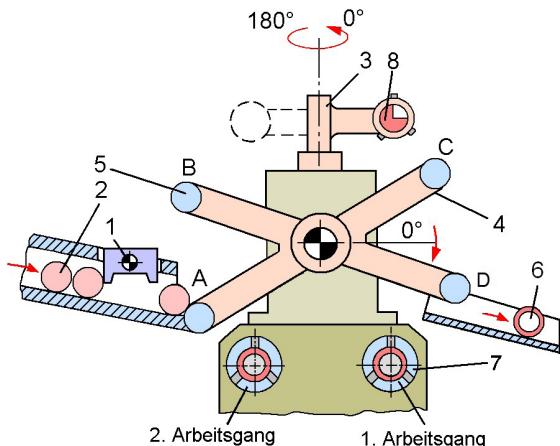
Obwohl das Handhaben eine wichtige Phase in Industrieprozessen darstellt, darf sich ihr Kostenanteil nicht zu stark auf das Endprodukt auswirken. Kriterien sind die Geschwindigkeit der Arbeitsschritte, Präzision der Produkte, kurze Ansprechzeiten, Langlebigkeit der Komponenten, Flexibilität bei der Arbeitsschrittumstellung und kostengünstige Systemlösungen.

Die Automatisierung von Handhabungsvorgängen hat zuerst in der Erzeugung von Massengütern eingesetzt. Man hat Vorrichtungen mit einer speziellen Kinematik entwickelt, die im Takt der Arbeitsmaschine tätig sind. Ein Beispiel wird in Bild 1.24 gezeigt. Die Getriebetechnik dominiert bei dieser Lösung. Die Teile werden aus einem Rollbahnmagazin abgenommen und in kontinuierlich vorbeilaufenden Werkstückträgern abgelegt. Der Anwendungsbereich solcher Mechanismen ist die Teilezuführung und z.B. auch das Handling an Verpackungsautomaten.



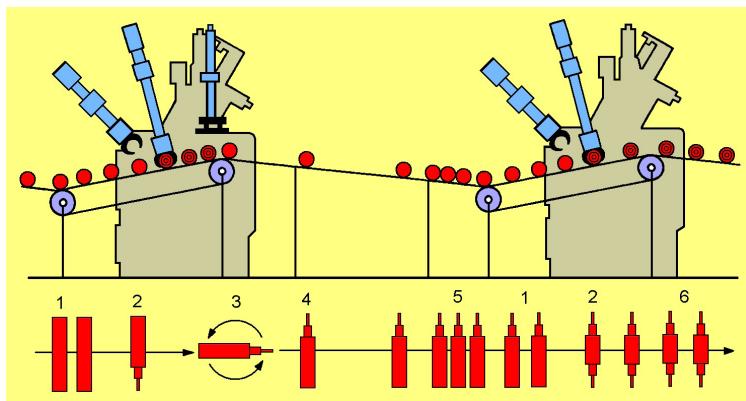
**Bild 1.24** Getriebetechnische Lösung für eine Teilezuführung.  
1 bis 4 Getriebeglieder

Ähnliche Handhabetechnik findet sich an z.B. Drehautomaten. In Bild 1.25 ist ein Doppel-spindel-Drehautomat zu sehen. Zu- und Abführung der Teile werden von Beschickungsarmen mit Greifern durchgeführt. Ist der erste Drehvorgang erledigt, wird das Teil zur zweiten Spindel zum Fertigdrehen gebracht. Vorher muss das Teil gewendet werden. Dazu befindet sich auf der Maschine eine Wendestation. Die sechs Bedienpositionen (Spannfutter, Aufnahme-, Wende-, Ablageposition) liegen unverrückbar fest und der Bewegungsablauf ist rein mechanisch darauf abgestimmt. Weil die Vorgänge zeitlich parallel ablaufen, ist das Konzept effektiver als bei einem **Drehautomat** mit nur einer Arbeitsspindel.



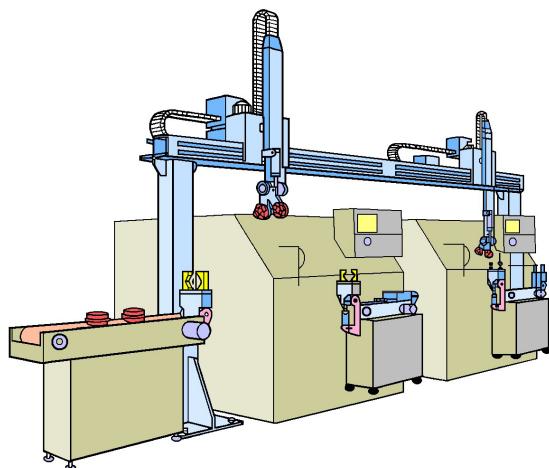
**Bild 1.25** Doppelspindel-Drehautomat mit Handhabungssystem.  
 1 Zuteiler, 2 Rohteil, 3 Wendeeinrichtung, 4 Vierfach-Schwenkarm, 5 Greifer, 6 Fertigteile, 7 Drehfutter, 8 Halbfertigteile

Neben der Einzelplatzautomatisierung sind Handhabungseinrichtungen bei der Verkettung von Be- und Verarbeitungsmaschinen zu Arbeitslinien (*transfer lines*) ein wichtiger Bestandteil (Bild 1.26). Eine Verkettung ist mit einem entsprechenden Aufwand an Mechanismen verbunden, um den Ortswechsel und die richtige Arbeitslage automatisch sicherzustellen. Sie setzt ausreichend große Stückzahlen voraus, wenn die Maßnahme wirtschaftlich tragbar sein soll. Deshalb beschränkt sich die Anwendung auf die Massenfertigung z.B. in der Herstellung von Elektromotoren oder im Automobilbau.



**Bild 1.26** Bewegungsfolge bei der Wellenfertigung auf verketteten Drehautomaten.  
 1 Heranbringen von Teilen, 2 Eingeben – Bearbeiten – Ausgeben, 3 Wenden, 4 Weitergeben, 5 Zwischenspeicherung, 6 Abführen der Fertigteile

Für das Handhaben der Werkstücke und die Verkettung von Maschinen zu Arbeitslinien werden heute in der Teilefertigung und bei der Verkettung von Pressen häufig **Linienportalroboter** (*linear portal robot*) eingesetzt. Ein Beispiel wird in Bild 1.27 dargestellt. Die Anlage besteht aus Drehautomaten und stellt eine Kombination von Werkstückbereitstellung, Zuführung und Weitergabeeinrichtung im Sinne einer Maschinenverkettung dar.



**Bild 1.27** Verkettung von Drehautomaten mit Hilfe von Linienportalrobotern

Es werden Doppelgreifeinheiten eingesetzt, die oft auch das Wenden von Werkstücken mit erledigen. Mitunter werden die Wendeeinrichtungen auch als Extravorrichtung im Arbeitsraum der **Portalroboter** angeordnet. NC-Drehautomaten und die Handhabungstechnik sind frei programmierbar und damit flexibel einsetzbar. Doppelgreifer (*double gripper*) ermöglichen, beim Abholen eines bearbeiteten Teiles bereits das neue Rohteil mitzubringen. Das erspart Roboterleerfahrten und führt zu kürzeren Span-zu-Span-Zeiten.

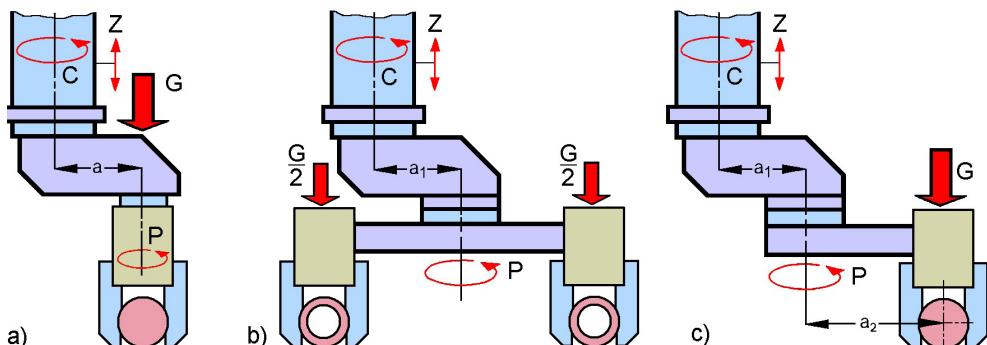
In Bild 1.28 wird die Last an einem **Linienportalroboter** definiert. Die Gewichtskraft  $G$  enthält die Masse des Greifers, des Adapters und des Werkstücks sowie andere notwendige Anbauten wie z.B. einen Sensor.

Das Lastmoment  $M$  ist nach Gl. 1.1:

$$M = G \cdot (a_1 + a_2) \quad (1.1)$$

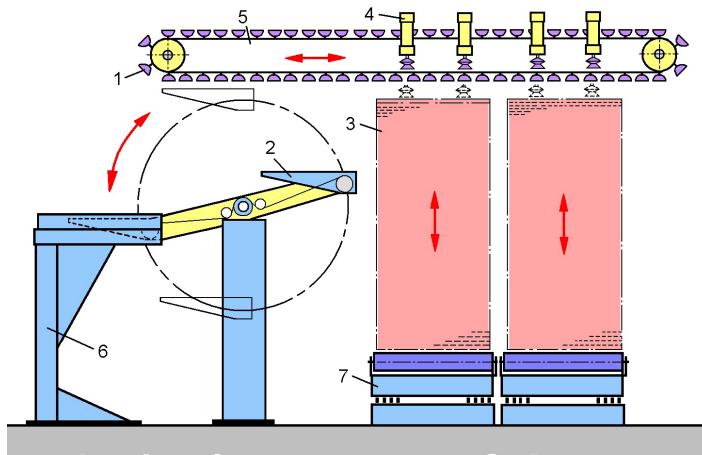
Kernarbeitsbereich in der y-Achse =  $2a_1$

Erweiterter Arbeitsbereich in der y-Achse =  $2(a_1 + a_2)$



**Bild 1.28** Handgelenkgestaltung bei Portalrobotern. a) Gewichtskraft  $G$  wirkt senkrecht zur Roboterachse  $P$ , b) Doppelgreifsystem zentrisch zur Achse  $P$ , c) exzentrisches Lastmoment

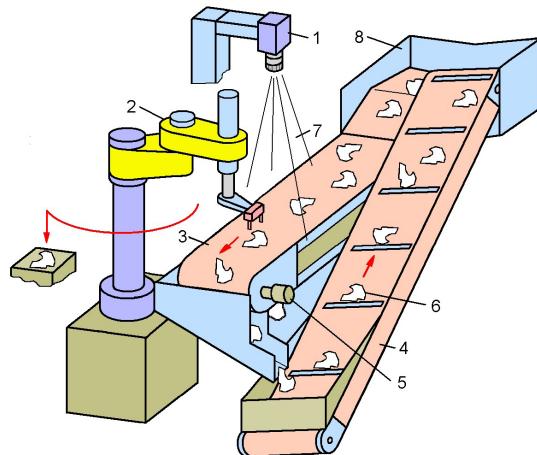
Noch ein weiteres Beispiel: Die Zuführung von auf Format geschnittenen Platten wird in Bild 1.29 skizziert. Die Teile werden vom Stapel abgenommen. Der Stapel wird von einem Hubtisch in der Höhe nachgeführt. Sauger heben das oberste Teil ab und übergeben es an einen Kettenförderer, der mit Saugern besetzt ist. Dann erfolgt die Ablage auf eine der rotierenden gabelförmigen Ableger. Die Gabel taucht nun zwischen die Walzen einer Förderstrecke (in die Bildtiefe führend), wobei die Platten auf den Walzenförderer zurückbleiben. Um Leerlauf zu vermeiden, kann die Abnahme auf einen zweiten Stapel umgeschaltet werden. Für eine **Stapelzuführung** bleibt genügend Zeit. Im Prinzip lässt sich eine solche Anlage auch im umgekehrten Ablauf einsetzen, also das Aufstapeln der vom Prozess ankommender einzelnen Platten.



**Bild 1.29** Zuführen von Platten vom Stapel.

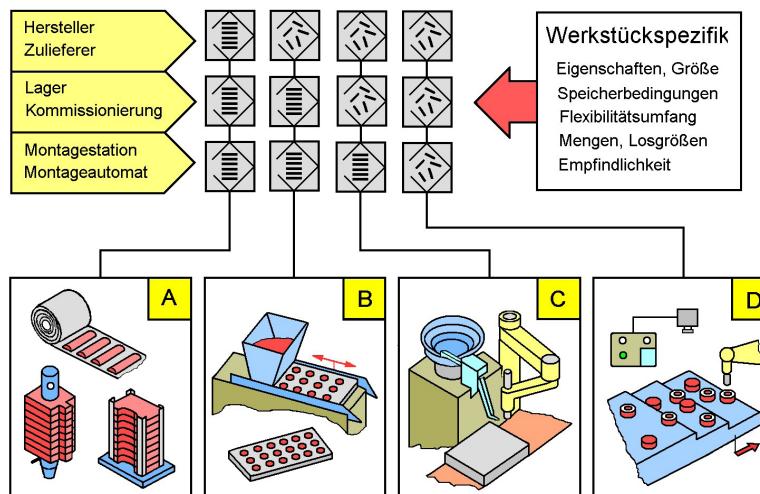
1 Scheibensauber, 2 Ablagegabel, 3 Plattenstapel, 4 Hubzylinder mit Sauger, 5 Kettenförderer, 6 Walzenförderer, 7 Hubtisch

Mit den Fortschritten in der automatischen **Bildverarbeitung** konnte ein weiterer wichtiger Schritt in der Flexibilisierung von Arbeitsmitteln erreicht werden. Es wurde möglich, Werkstücke in einem ungeordneten Zustand zu erkennen, d. h. Position und Orientierung anzugeben. Damit lässt sich dann ein Roboter beauftragen, Teil für Teil zu greifen und einem Prozess zuzuführen. Die Probleme, die ursprünglich mit der Kameratechnik, Beleuchtung und Geschwindigkeit bestanden, konnten inzwischen weitgehend gelöst werden. Das Bild 1.30 zeigt ein aktuelles Beispiel für die Teilebereitstellung.



**Bild 1.30** Kamera-unterstützter Robotergriff vom laufenden Förderband.  
 1 Kamera, 2 Scara-Roboter, 3 Förderband, 4 Teilerücklauf, 5 Tachometer, 6 Werkstück, 7 Kamera-Sichtfeld, 8 Aufgabebunker

Zusammenfassend lassen sich einige typische Bereitstellvarianten für automatische Fertigungssysteme aus der Sicht der Werkstückhandhabung formulieren (Bild 1.31). Man kann die Teile magaziniert, paketiert oder gegurtet anliefern (A). Plattenmagazine lassen sich z. B. mit Hilfe eines Geradschwingförderers automatisch füllen (B). Das leere Magazin wird aufgesetzt, dann wandern viele Werkstücke von Schwingungen getrieben über das Magazin. Nach und nach füllen sich die Formnester. Die Teile sind nun geordnet und magaziniert (siehe dazu auch Bild 4.298). Man kann die Teile auch unmittelbar am Montageplatz mit geeigneten Handhabungsgeräten ordnen (C). Das geht beispielsweise in Kombination von Sichtsystem (Kamera, Beleuchtung), Bildverarbeitung und Robotergriftechnik. Die Greifkoordinaten werden der Robotersteuerung für einen gezielten Griff übergeben (D).

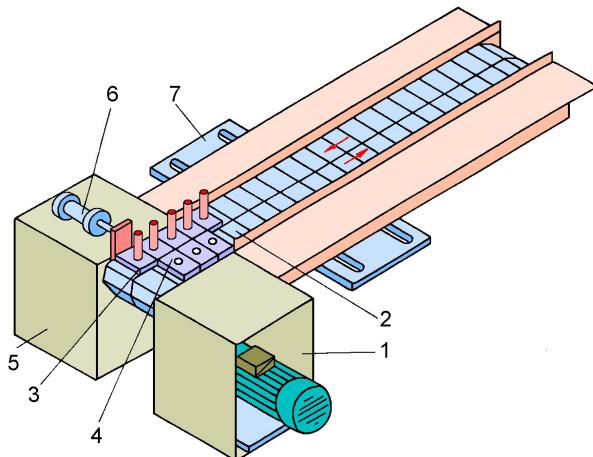


**Bild 1.31** Bereitstellvarianten unter dem Aspekt des Ordnungsgrades der Teile.

A magazinierte, paketierte oder gegurtete Teilebereitstellung, B Füllen von Werkstückträgern mit Hilfe von Schwingungen, C robotisiertes Füllen von Magazinen, D kameragestütztes Ordnen von Kleinteilen mit gezieltem Griff

**Schüttgut** ist die billigste Anlieferungsform für Kleinteile, aber nur für solche, die sich nicht miteinander verhaken. Wie auch in Bild 4.298 ersichtlich, müssen dann z. B. an der Montagemaschine Ordnungsvorgänge durchgeführt werden. In der Elektronik sind die Bestückungsautomaten überwiegend mit Magazinzuführungen ausgerüstet. Die Teilezufuhr geschieht, auch wegen der Verhakungsgefahr bedrahteter Bauelemente, weitgehend mit Gurt, Stangenmagazin, Stanzstreifen, Flächenmagazin, Linearmagazin und Stapelmagazin.

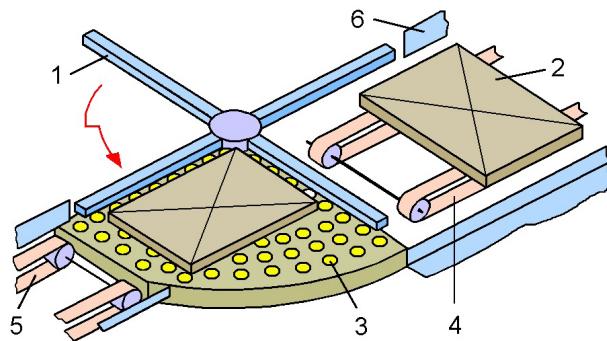
In Bild 1.32 wird ein Bereitstellplatz für Montageteile gezeigt. Als Basis dienen Plattenbandketten. Die Teile befinden sich bis zur Entnahme in Werkstückträgern. Diese werden dann zur Rücklaufstrecke verschoben. Die offene Bauweise ermöglicht eine gute Sicht auf das System.



**Bild 1.32** Plattenbandspeicher mit Werkstückträgerrücklauf.

1 Antrieb, 2 Förderer, 3 Entnahmestelle, 4 Werkstückträgerrücklaufstrecke,  
5 Einheit für Drehrichtungsumkehr, 6 Querhubzylinder, 7 Ständer

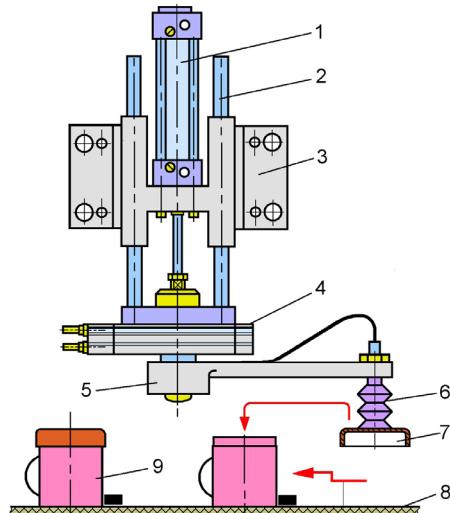
Die Bereitstelltechnik ändert sich wesentlich, wenn z. B. Langgut (siehe Kap. 4.12) oder Möbelplatten zuzuführen sind. So zeigt das Bild 1.33 eine Schwenkeinrichtung, die ankommende Spanplatten mit einem Drehkreuz erfasst und diese auf einem Kugelrolltisch ruhend (siehe Bild 6.55) in eine neue Orientierung schwenken. Ein **Bandförderer** übernimmt dann den Abtransport zum nächsten Prozessabschnitt. Der Schwenkvorgang setzt ein, wenn ein Anwesenheitssensor die Ankunft einer Platte festgestellt hat. Während des Schwenkens muss außerdem der Werkstückeintritt kurzzeitig gesperrt werden.



**Bild 1.33** Schwenken von Möbelplatten (Sensorik nicht mit dargestellt).

1 Drehkreuz, 2 Werkstück, 3 Kugelrolltisch, 4 Förderband, 5 Zuführkanal, 6 Seitenführung

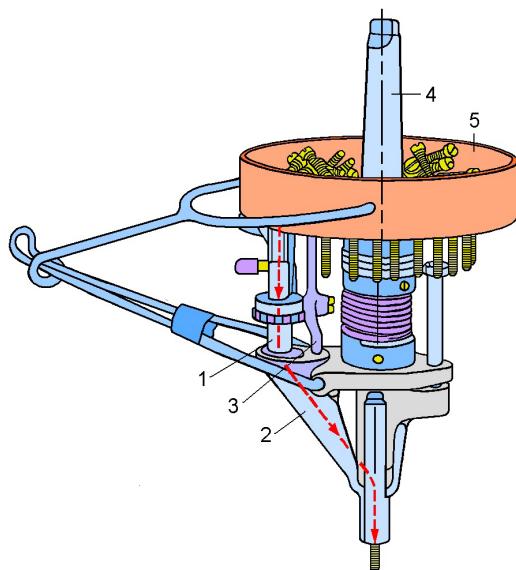
Bei allen Bemühungen möglichst flexible Handhabungstechnik verfügbar zu haben, braucht man für Massenprozesse auch heute noch Pick-and-Place-Geräte. Diese sind nicht oder kaum umprogrammierbar und deshalb preiswert. In Bild 1.34 wird eine einfache Montage gezeigt. In der Peripherie werden Deckel aufgenommen und dem Basisteil aufgesetzt. Es werden pneumatische **Standardmodule** verwendet, um eine Montagestation zu konfigurieren. Die Basisteile werden im Takt bereitgestellt. Die Endpositionen der aktiven Elemente lassen sich einstellen und behalten zuverlässig ihre Position.



**Bild 1.34** Deckelmontage mit Pick-and-Place-Gerät.

1 Pneumatikzylinder, 2 Linearführung, 3 Befestigungsleiste, 4 pneumatische Schwenkeinheit, 5 Schwenkarm, 6 Faltenbalgsauger, 7 Werkstück, Deckel, 8 Förderband, 9 Henkelgefäß

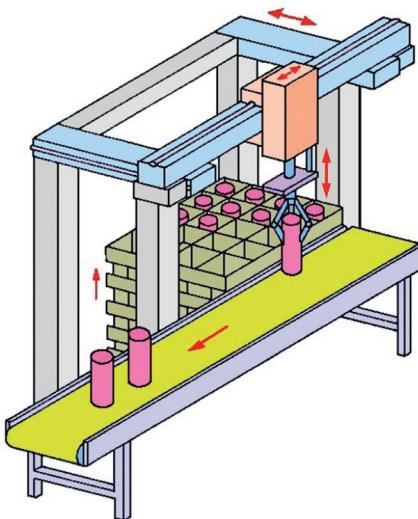
Zur Montage zählt auch das Verschrauben. Die in Bild 1.35 gezeigte Vorrichtung, ein historisches Beispiel, war für das Setzen von Holzschrauben im Einsatz. Das Gerät hat man in die Spindel einer Ständerbohrmaschine eingesetzt. In gewissen Zeitabständen ist der Bunker mit Schrauben aufzufüllen. Diese geraten in Schwingungen, hängen sich aus und sind somit geordnet. Pro Abwärtshub der Maschinenspindel wird je eine Schraube zugeteilt. Sie fällt in den Schraubermundstück. Ist der Schraubhub beendet, wird bereits die nächste Schraube in den Zuführkopf geleitet. Das Drehmoment beim Schrauben konnte eingestellt werden, der Schraubhub wurde meistens manuell an der Maschinenspindel aufgebracht. Die Lösung, bereits Ende der 1920er Jahre auf den Markt gebracht, konnte sich etwa 40 Jahre als Zusatzeinrichtung für mechanisiertes Schrauben vor allem in der Möbelindustrie am Markt behaupten [1.8]. Heute sind Zuführsystem und Schrauber getrennt. Die vereinzelten Schrauben werden über einen Schlauch zum Schraubermundstück geblasen; im Fachjargon auch als „Schraubenschießer“ bezeichnet.



**Bild 1.35** Magazinschraubkopf um 1930.

1 Zuführkopf, 2 Fallkanal, 3 Zuteilhebel, 4 Morsekegel, 5 Schraubenbunker

Es geht in der Handhabungstechnik nicht nur um die Zuführung von Werkstücken. Auch das **Auflösen** von Flächen- und Volumenordnungen, die aus gestapelten Flachpaletten bestehen kann, ist eine automatisierungswürdige Aufgabe. Das Bild 1.36 zeigt dazu eine klassische Lösung. Die Teile oder Produkte werden entnommen und einzeln zum Förderband gebracht. Leere Paletten können ebenfalls abgenommen und dahinter ausgegliedert werden. Meistens wird noch ein Hubtisch für das Anheben des Palettenstapels benötigt. Es sind mechanische, magnetische und vakuumtechnische Greifer einsetzbar.



**Bild 1.36** Auflösung einer üblichen räumlichen Anordnung von Objekten mit einem dreiachsigem Flächenportalroboter (auch karterischer Roboter genannt)

## Kontrollfragen

- 1.1 „Handhabung“ und „Transportieren“ haben vieles gemeinsam. In welchen Punkten unterscheiden sie sich aber? Wie kann man das „Fördern“ einordnen?
  - 1.2 Welche Vorteile hat in der Fertigung der Einsatz von Fließgut? Definieren Sie die Begriffe Stückgut, Fließgut und Quasifließgut! Nennen Sie einige typische Beispiele.
  - 1.3 Der Vorgang „Handhaben“ lässt sich in fünf Teilfunktionen gliedern. Welche sind es?
  - 1.4 Nennen Sie wichtige Gründe für die Verlagerung von Handhabungsoperationen vom Menschen auf die Maschine!
  - 1.5 Wie kann man die Leistungsgrenzen von Mensch, Industrieroboter und Sondermaschine sinnvoll abstecken?
  - 1.6 Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit eine Maschine Werkstücke und auch Werkzeuge, z.B. einen Schrauber, automatisch handhaben kann?
  - 1.7 Was ist ein Telemanipulator und wofür werden solche Geräte zur Anwendung gebracht?
  - 1.8 Was bewirkt eine Verkettung von Maschinen zu einer Arbeitslinie? Welchen Nutzen kann man erwarten?
  - 1.9 Wann könnte man eine Fertigung als hochautomatisiert betrachten?

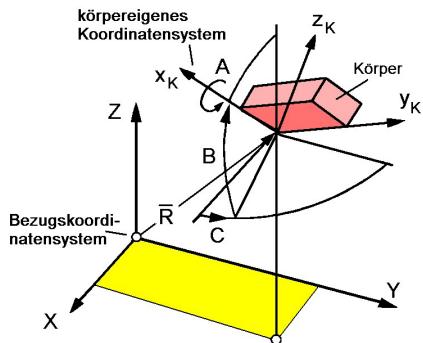
**Literatur und Quellen**

- [1.1] *Engelberger, J.F.*: Industrieroboter in der praktischen Anwendung. Carl Hanser Verlag München, Wien 1981
- [1.2] *Hesse, S.*: Fertigungsautomatisierung. Vieweg Verlag Wiesbaden 2000
- [1.3] Werkstückhandhabung in der automatisierten Fertigung – Ein Leitfaden zur Lehrschau. VDI Württemberg Stuttgart 1968
- [1.4] *Hesse, S.*: Handhabungstechnik von A bis Z. Hoppenstedt Publishing Darmstadt 2008
- [1.5] *Naumann, I.*: Der englische Fachwortschatz der Robotertechnik – Spezifik, Stratifikation und semantische Relationen. Diss. TU Dresden 1988
- [1.6] Werkstückhandhabung in der automatisierten Fertigung. Heft 244, Haus der Technik Essen 1970

# 2

## Handhabungsobjekte

Handhabungsobjekte sind geometrisch bestimmte Gegenstände, die von einer Handhabungseinrichtung bewegt oder gehalten werden. Dazu zählen Bauteile, Werkzeuge, Prüfmittel, Vorrichtungen u.a. Es können auch Steine, Betonteile, Schlachtkörper und landwirtschaftliche Produkte sein, soweit man sie wenigstens angenähert als „geometrisch bestimmt“ ansehen kann. Handhabungsobjekte besitzen ein körpereigenes Koordinatensystem ( $x_k, y_k, z_k$ ). Um das Körpersystem in das Bezugskoordinatensystem zu überführen, sind drei Drehungen ( $A, B, C$ ) und drei Verschiebungen ( $X, Y, Z$ ) erforderlich. Der maximale **Freiheitsgrad**  $f$  eines Körpers im Raum ergibt sich somit zu  $f = 6$  (Bild 2.1).



**Bild 2.1** Koordinatensystem beim Handhaben von Gegenständen im dreidimensionalen Raum.  
 $\bar{R}$  Ortsvektor mit  $(x, y, z)$

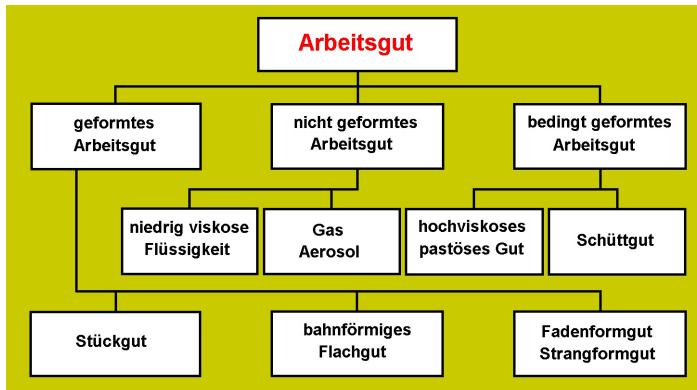
Im Gegensatz zu den Handhabungsobjekten kann ein Roboterarm als bewegliches kinematisches System auch mehr (Getriebe-)Freiheitsgrade  $F$  als  $F = 6$  besitzen. Die Freiheitsgrade  $f$  (*degree of freedom*) des dreidimensionalen Raumes und die eines kinematischen Systems  $F$  darf man nicht verwechseln. Eine Handhabungseinrichtung, mit weniger als  $F = 6$  kann nicht alle Positionen und Orientierungen in einem Raum erreichen. Ist  $F$  kleiner als die Anzahl an Gelenkkachsen, dann spricht man vom redundanten Roboter.

### ■ 2.1 Gliederung und Merkmale

Um möglichst viele industrielle Prozesse erfassen zu können, ist es vorteilhaft, wenn man vom Begriff des Arbeitsgutes (Bild 2.2) ausgeht. Das sind Halbzeuge, Roh- und Fertigteile, die im Produktionsprozess bearbeitet, verarbeitet, montiert und geprüft werden. Wesentlich ist die schon in Bild 1.19 erwähnte Unterteilung in Stück- und Fließgut.

Für die Handhabungstechnik sind die geometrischen Formen der Teile sehr bedeutungsvoll, weil davon die Schwierigkeit des Handhabens abhängt, z.B. Wirteile (*tangling parts*), die sich im Haufwerk zu einem Knäuel verhaken und dann nicht mehr einzeln zuführbar

sind. Das Ziel besteht auch darin, Handhabungseinrichtungen unter Ausnutzung des **Werkstückverhaltens** zu gestalten. Das trifft besonders auf freie Werkstückbewegungen zu, die vorwiegend unter Schwerkrafeinfluss ablaufen.



**Bild 2.2** Allgemeine Gliederung von Arbeitsgut

Das Bild 2.3 zeigt ausgewählte Werkstückbeispiele. Die Schwierigkeit für das Handhaben nimmt in dieser tabellarischen Anordnung nach rechts unten zu. Konstrukteur und Fertigungsplaner interessieren sich natürlich auch dafür, welche typischen Merkmale ein Objekt aufweist und welche Verhaltenseigenschaften, positive wie negative, damit verbunden sind.

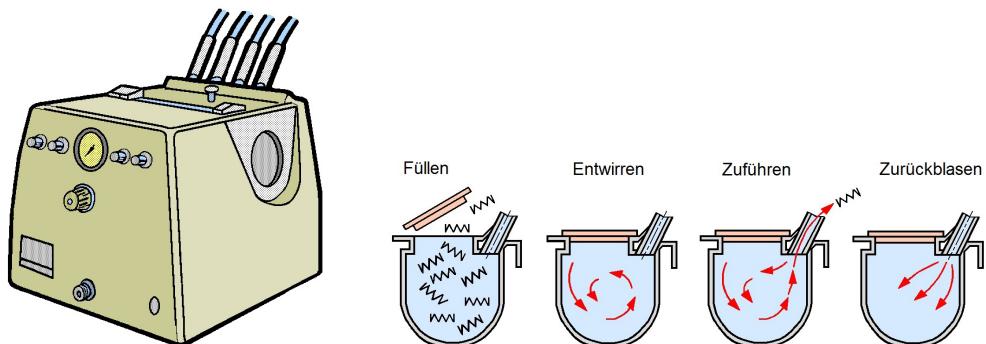
Werkstückgrundformen (Beispiele)					
Formelemente	Kugel	Stange	Flachteil	Pilzteil	Wirrteil
Teile mit glatter Außenform					
Merkmale in der Innen- und Außenkontur					
Werkstücke mit exzentrischen Elementen					
unregelmäßig zusammengesetzte Formen					

**Bild 2.3** Beispiele für typische Werkstückgrundformen mit verschiedener Handhabungsschwierigkeit

Problematisch ist die Zuführung von **Wirrteilen**. Sie lassen sich in Hakenwirrteile (formschlüssige Verbindung), Klemmwirrteile (kraftschlüssige Verbindung) und Klebewirrteile (stoffschlüssige Verbindung) einteilen. Entwirrgeräte sind fast nur für die Zuführung von Hakenwirrteilen bekannt, die auch als „Heuteile“ bezeichnet werden. Der Entwirrprozess unterliegt den statistischen Gesetzmäßigkeiten und hängt von der Verhakungsneigung der Teile und ihrer Deformierbarkeit ab. Dadurch entstehen stärkere Schwankungen in der Gleichmäßigkeit der Lieferung entwirrter und geordneter Teile. Als Funktionsprinzip werden eingesetzt:

- Verwirbeln im getakteten Luftstrom (Blasförderer mit Führungsrollen)
- elektrisches Wanderfeld
- oszillierende Entwirrbürsten
- Schwingplatten mit Ausricht-, Prall- und Trennelementen
- Kombinationen von mehreren Prinzipien wie z.B. Trommel plus Luftstromimpulse

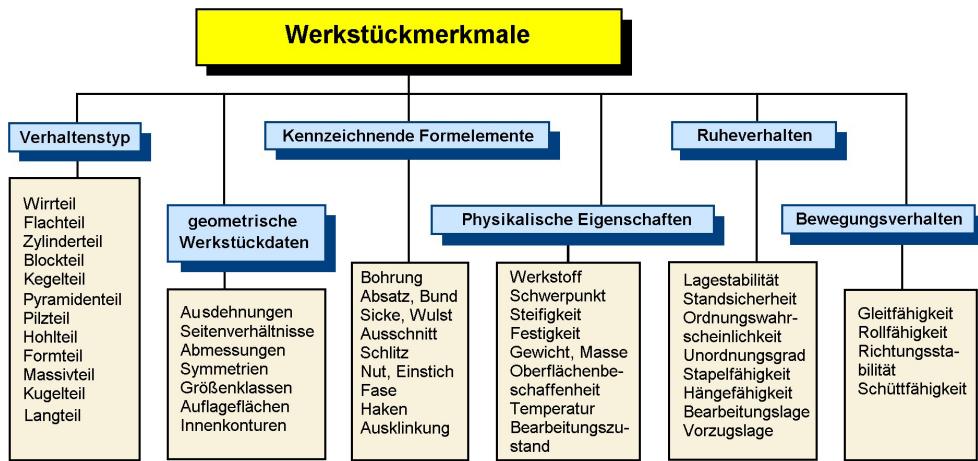
Das Bild 2.4 zeigt das **Entwirren** von kleinen Drahtfedern mit Druckluftstößen. Das durchwirbelte Drahtknäuel gibt einige Federn frei, die dann über mehrere Röhren ausgegeben werden. Es werden Leistungen bei mehrkanaligen Systemen bis 1000 Stück je Minute erreicht, bei einem Federndurchmesser von 3 mm bis 10 mm, einer Federlänge bis 50 mm und einer Drahtstärke von 0,3 mm.



**Bild 2.4** Entwirr- und Zuführgerät für kleine Schraubenfedern (Colombi Speedfeeder)

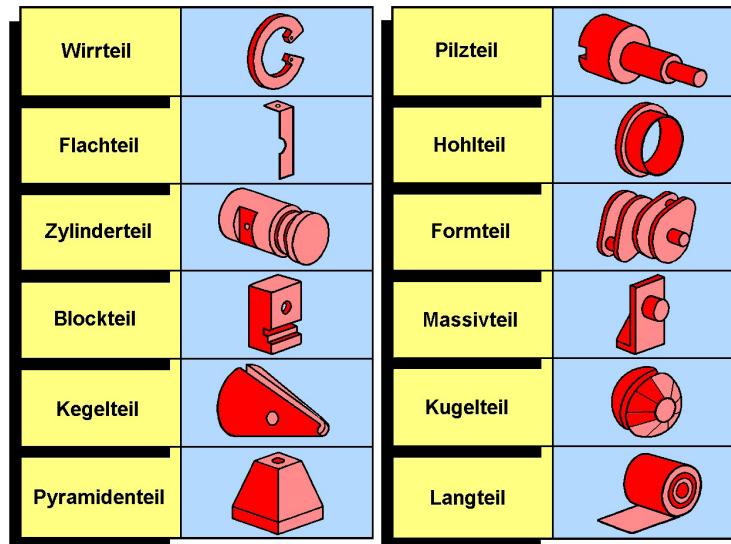
Für eine Analyse der Werkstückmerkmale und Eigenschaften kann die Übersicht nach Bild 2.5 herangezogen werden. Sie ist ein Beitrag zu einer allgemeinen Verhaltenslehre der Werkstücke. Sind die Eigenschaften eines Werkstücks erkundet, dann lassen sich für die einzelnen Handhabungsfunktionen viel besser Funktionsträger auswählen. Einem **Werkstückmodell** werden dann verschiedene Gerätemodelle gegenübergestellt.

Für die Planung des erforderlichen Umfangs an Handhabungsoperationen ist der Anlieferzustand wichtig, und zwar bezüglich der Orientierung (*orientation*) und der Position eines Körpers.



**Bild 2.5** Beschreibungsgrößen für Handhabungsobjekte (Merkmale, Verhalten, Eigenschaften)

Werkstücke lassen sich, wie man sieht, auch nach **Verhaltenstypen** einteilen. Das kann man in Bild 2.6 sehen. Dort sind jeweils Typenvertreter als Beispiel skizziert. Probleme einer Systematik werden in [2.2] aufgezeigt.



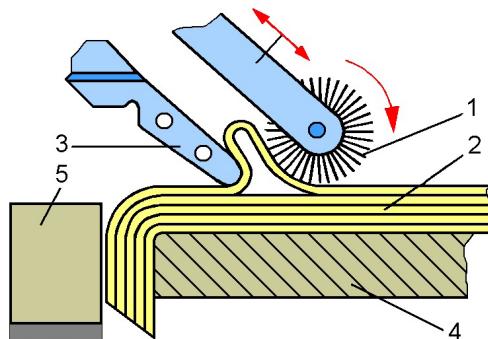
**Bild 2.6** Einteilung von Werkstücken nach Verhaltenstypen [2.3]

Der Sinn einer solchen Werkstücksystematik besteht in den folgenden Aspekten:

- Den Verhaltenstypen lassen sich unter Verwendung rechnergestützter Auswahlsysteme in der Art von „Wenn-Dann-Beziehungen“ (Entscheidungstabellen; *decision table*) geeignete Handhabungsgeräte zuordnen.

- Verhaltenstypen (*types of behaviour*) können Basis für die Ausarbeitung typisierter Handhabungstechnologien sein, zum Beispiel die Auslegung von Orientierungsschikanen mit Expertensystem, CAD-Modellen für die Schikanen u.a.

Die Handhabung biegeweicher Bauteile ist besonders schwierig, weil sie bei jeder Einwirkung (Kraft, Schwerkraft, Druck) ihre Form verändern. Manchmal kann man die Teile durch starke Unterkühlung vorübergehend versteifen. Für textile Gebilde lassen sich z.B. Gefrier- oder Nadelgreifer für das Handhaben einsetzen. In Bild 2.7 wird eine Greifeinheit gezeigt, die das Material baggert (aufwälzt), faltet und klemmt [2.4]. Dann kann das erfasste Flächengebilde an einen Zielort bewegt und abgelegt werden.

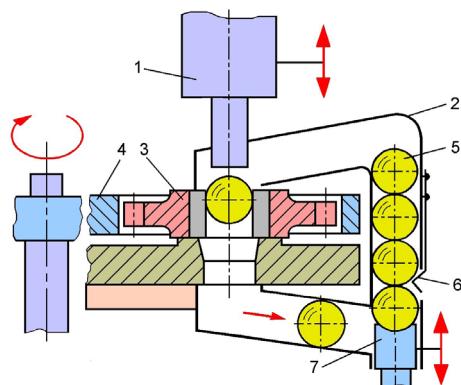


**Bild 2.7** Anfassen textiler Flächengebilde vom Stapel.

1 Rundbürste, 2 gestapelte textile Lagen, 3 Aufwälzfinger, 4 Auflagetisch, 5 Anlageplatte

Handhabungsobjekte können auf vielfältige Weise gleichzeitig auch Werkzeug sein. Ein Beispiel wird in Bild 2.8 vorgestellt. Es werden Lagerbuchsen in einem Zahnrad kalibriert (Buchse auf ein genaues Innenmaß bringen und Oberfläche glätten). Die **Kalibrierkugeln** laufen ständig im Takt der Maschine um und werden immer wieder verwendet. Dafür wurde ein Rücklaufkanal vorgesehen.

Das zu bearbeitende Zahnrad wird in einem Rundschaltteller (*indexing rotary table*) taktweise zugeführt und positioniert. In einer vorgelagerten Arbeitsstation (*process of manufacture*) wird die Buchse auf der gleichen Maschine eingepresst.

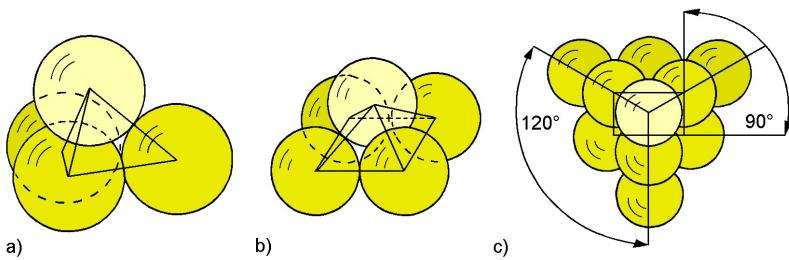


**Bild 2.8** Kugelkalibrierung von Lagerbuchsen in Zahnräder.

1 Pressstempel, 2 Kugelumlauf, 3 Werkstück, 4 Rundschaltteller, 5 Kalibrierkugel, 6 Rückhalter, 7 Zuteilerstößel

## ■ 2.2 Werkstückordnungen

Ordnungen existieren vielfältig in der Natur und können auch Vorbild für ingenieurmäßiges Denken sein. Man könnte so etwas wie „**Urordnungen**“ formulieren. Der Techniker interessiert sich für die Platzierung von Körpern, die die einfachste, dichteste und damit auch die raumsparendste Ordnung darstellt. Für eine Demonstration lassen sich Kugeln gut verwenden. Die dichteste Packung kann mit einem gleichseitigem Dreieck umhüllt werden. Auch Zylinder bilden ein gleichseitiges Dreieck, wenn man sie „auf Lücke“ platziert. Legt man einer dichten Kugellage eine Lage obenauf, dann lassen sich jeweils vier Kugeln von vier gleichseitigen Dreiecken umhüllen. Das ergibt ein Oktaeder. Der Winkel von  $60^\circ$  spielt hier die entscheidende Rolle. Somit erhält man eine Mischpackung von Tetraedern und Oktaedern (Bild 2.9).

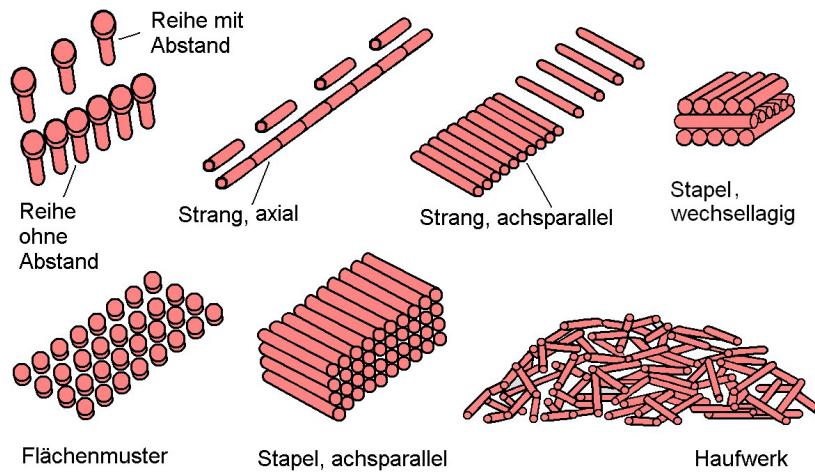


**Bild 2.9** Elementare Ordnungen am Beispiel dicht gepackter Kugeln.

a) tetraedrische dichteste Packung, b) oktaedrische dichteste Packung, c) dichteste Kugelpackung; Sie kann als „Urordnung“ verstanden werden.

Durch einfache Teilung von Kanten und Umhüllungen über die Ecken sind die regulären Körper ineinander überführbar. Die Stapelung von Kugeln zeigt, dass Tetraeder mit sich selbst nicht stapelbar sind, sondern nur im Wechsel mit Oktaedern. Es gibt übrigens nur wenige reguläre Körper, die mit sich stapelbar sind. Am bekanntesten ist der Kubus.

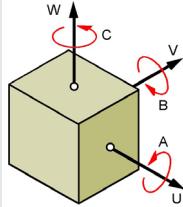
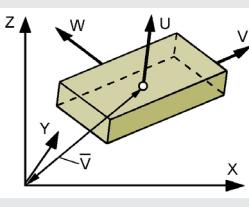
Eine Packung von Kugeln ist der Idealfall. In der Fertigungstechnik hat man es dagegen oft mit recht komplizierten Werkstückformen zu tun. Geometrische Details können die Stapelfähigkeit, die Standsicherheit, die Reihungsfähigkeit und die Anordnung zu flächendeckenden **Mustern** im Vergleich zu einem Idealfall beträchtlich verschlechtern (flächendeckende Muster werden auch als „Reguläre Parkettierungen“ bezeichnet, für die eine spezielle Mathematik zur Verfügung steht; so z.B. die anwendungsorientierte Literatur [2.5]). Reihungsfähig sind solche Werkstücke, bei denen die sich berührenden Kanten und die Flächen aneinander liegender Teile so beschaffen sind, dass sie eigenständig in einer positions- und orientierungssicheren Lage verharren. Das Bild 2.10 zeigt typische Werkstückanordnungen, wie man sie in der Industrie häufig vorfindet. Die Vielfalt vergrößert sich in dem Maße, wie man noch weitere und komplexere Formen in die Betrachtung einbezieht. Automatisierte Handhabungstechnik muss mit solchen Mustern zureckkommen.



**Bild 2.10** Anordnungsbeispiele von industriellem Arbeitsgut

Wie werden nun die Begriffe „Position“ und „Orientierung“ definiert?

Sind **Orientierung** und **Position** eines Körpers nicht vollständig bekannt, dann lässt sich das mit dem Orientierungs- und/oder Positionierungsgrad (OG, PG), also mit einer Kennzahl, ausdrücken (Bild 2.11).

	
<b>Orientierungsgrad OG</b>	<b>Positionierungsgrad PG</b>
Anzahl rotatorischer Freiheitsgrade, in denen die Orientierung bestimmt ist (OG = 0 ... 3). Drehungen um die Achsen x, y, z	Anzahl translatorischer Freiheitsgrade, in denen die Position bestimmt ist (PG = 0 ... 3). Verschiebung in den Achsen x, y, z
$\Downarrow$ <b>Ordnungszustand OZ = OG/PG</b>	$\Downarrow$

**Bild 2.11** Definition des Ordnungszustandes mit Ordnungskennzahlen (nach der Richtlinie VDI 2860, Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen. Begriffe, Symbole, Definitionen)

Die **Orientierung** eines Körpers ist durch die Angaben bezüglich aller drei rotatorischen Freiheitsgrade (*degree of freedom*) vollständig bestimmt.

Die **Position** eines Körpers ist nur durch Angaben bezüglich aller drei translatorischen Freiheitsgrade bestimmt.

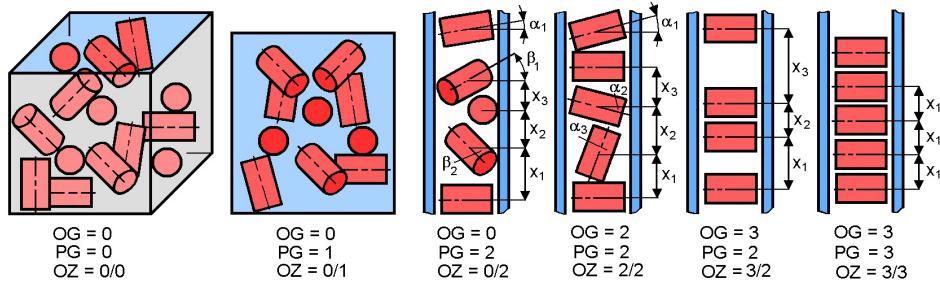
Daraus leitet sich für den Ordnungszustand OZ ab:

- $OZ = 0/0$  Objekte völlig ungeordnet
- $0/0 < OZ < 3/3$  Objekte teilgeordnet
- $OZ = 3/3$  Objekte völlig geordnet

### Beispiel 2.1 Ordnungszustände von Objekten

In welchen Ordnungszuständen OZ kann sich ein kleiner Vollzylinder, der keine besonderen äußereren und inneren Merkmale aufweist, befinden?

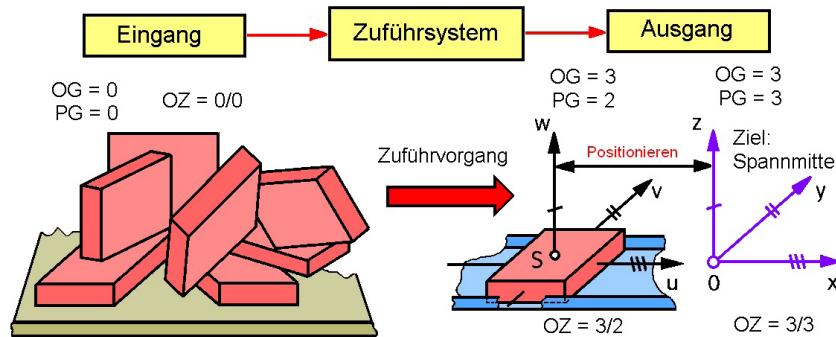
Grundsätzlich hängt der erforderliche Aufwand für das **Ordnen** vom vorgefundenen Anfangszustand und dem gewünschten Endzustand ab. Der Ausgangszustand kann eine Speicherung im 3D-Raum (Kasten), auf einer Ablagefläche (Förderband) oder in einer Rinne (Gleit-, Rollbahn) sein. Das wird in Bild 2.12 visualisiert.



**Bild 2.12** Darstellung des Ordnungszustandes *OZ* bei Stückgut.

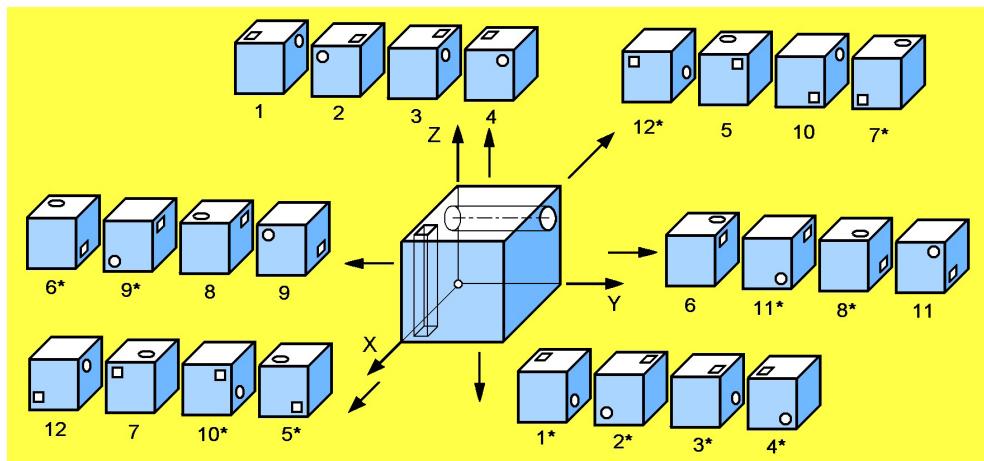
*OG* Ordnungsgrad, *PG* Positionierungsgrad

Die Reduzierung der Unordnung ist eine Aufgabe der Bunkerzuführsysteme, neben der zeitweiligen Speicherung von Arbeitsgut. Der Maximalfall besteht im vollständigen Ordnen der Teile, also von  $OZ = 0/0$  bis zu  $OZ = 3/3$ . Das geschieht meistens schrittweise in mehreren **Ablaufstufen**, wie es auch aus dem Bild 2.13 hervorgeht. Es gibt aber auch Fälle, bei denen die Teile nicht unbedingt bis zu  $OZ = 3/3$  behandelt werden müssen.



**Bild 2.13** Prinzipieller Ablauf beim stufenweisen Ordnen eines Körpers aus einem Haufwerk

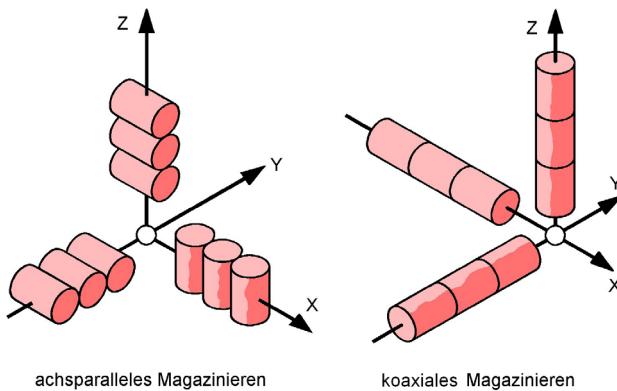
Werkstücke mit besonderen Merkmalen sind jedoch schwieriger zu orientieren und können im **Haufwerk** viel mehr verschiedene Orientierungen einnehmen als die geometrisch einfachen Teile. Berücksichtigt man nur die um  $90^\circ$  versetzten Orientierungen, dann sind es 24, wie man aus dem Bild 2.14 ersehen kann. Ziffern mit Stern sind die um  $180^\circ$  gedrehten Orientierungen. Die Aufgabe besteht darin, die für den Prozess erforderliche Wunschlage mit möglichst wenigen gesteuerten Drehungen um die Achsen  $\pm x$ ,  $\pm y$  und  $\pm z$  zu erreichen. Bei nicht würfelartigen Teilen können diese im chaotischen Zustand Voreinstellungen einnehmen, deren Kenntnis für die Gestaltung einer Orientierungseinrichtung (*orientation device*) und gegebenenfalls einer Steuerung außerdem bedeutsam ist (siehe dazu Bild 4.209).



**Bild 2.14** Orientierungsvarianten eines Kubus mit inneren (geometrischen) Merkmalen

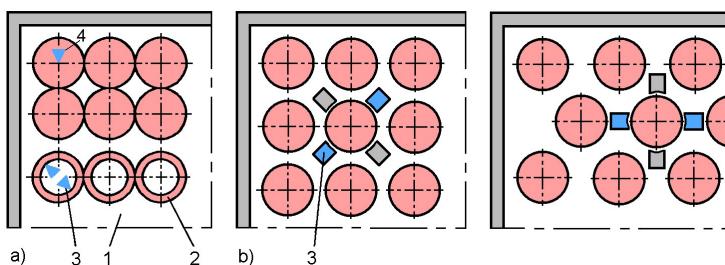
Aus den möglichen Werkstückanordnungen leiten sich auch die theoretisch möglichen Magazinformen ab. Für ein Zylinderteil werden in Bild 2.15 die verschiedenen Möglichkeiten in den drei Raumkoordinaten gezeigt. Es lassen sich folgende **Magazintypen** ableiten:

- achsparalleler Werkstückverband: Schachtmagazin, Rollbahnmagazin, Gleitrinne
- koaxialer Werkstückverband: Gleitrinne, Kanalmagazin, Rohrmagazin



**Bild 2.15** Magazinierungsmöglichkeiten von zylindrischen Werkstücken in Linienanordnung

Erweitert man die Betrachtung auf flächenhafte und räumliche Anordnungen, so erhält man weitere typische Werkstückordnungen wie flächenhaft-einlagige Ordnungen, achsparallel-mehrlagige Ordnungen und musterversetzte mehrlagige Ordnungen. Jedes Muster stellt hierbei besondere Anforderungen an den Platzbedarf, die technischen Mittel für das Sichern der Orientierung (Werkstückaufnahmen) und die **Greiftechnik** für das Handhaben der Teile. So wird beim Außengriff mit dem Klemmbackengreifer stets ein Freiraum für die Greiferfinger benötigt. Bei Innengreifern und Saugern ist das nicht der Fall.



**Bild 2.16** Werkstückanordnung und Greifprinzip sind stets im Zusammenhang zu sehen.

- a) Sauger- bzw. Innengreifer, b) Greifen mit Zwei- oder Vierfingergreifern,  
1 Flachpalette, 2 Werkstück, 3 Greifbacke, 4 Sauger

Für ein orthogonales Ablagemuster eignet sich z.B. ein Vierfingergreifer. Das wird in Bild 2.16 am Beispiel gezeigt. Manchmal genügt dafür auch ein Zweibackengreifer, der das Werkstück allerdings nur mit Prismabacken exakt auf Greifermitte ausrichten kann.

Lassen sich die Werkstücke mit Sauger, Magnet- oder Innengreifer anfassen, dann erreicht man eine hohe Speicherdichte  $D_s$ .

$$D_S = \frac{n}{A} \text{ (in Stück je m}^2\text{)} \quad (2.1)$$

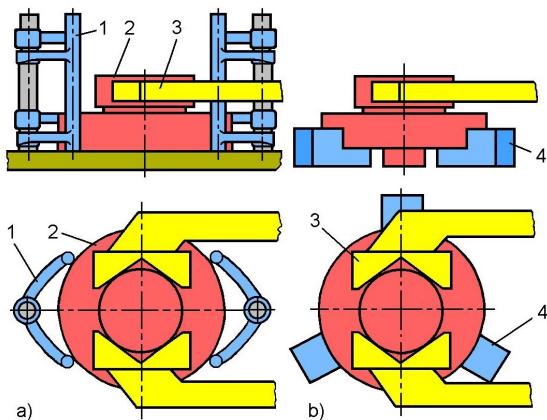
*n* Anzahl von Speicherobjekten

*A* Speicherfläche

Die **Speicherdichte** ist eine Flächendichte. Für Vergleiche von unterschiedlichen Speicherlösungen muss man natürlich vom gleichen Werkstück ausgehen. Die Speicherdichte  $D_S$  hängt von folgenden Gegebenheiten ab:

- Form und Größe des Werkstücks
- Form (rechteckig, rund) und Größe der Speicherfläche
- Werkstückanordnung und Werkstückabstände (Zwischenräume)
- Abmessungsverhältnisse von Werkstück und Speicher (Randfreiräume)

Oft kann man die Werkstücke nicht einfach in Palettenböden mit Lochraster einsetzen. Dann sind Werkstückaufnahmen nötig, die mitunter sogar Vorrichtungscharakter annehmen können (Bild 2.17). Die Wahl solcher Vorrichtungselemente und das Anordnungsmuster der Werkstücke unterliegen Einschränkungen durch die Bewegungsmöglichkeiten der Handhabungs- und Magazineinrichtungen.



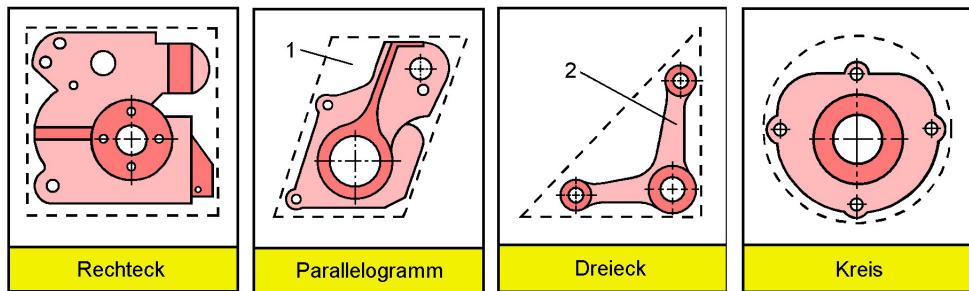
**Bild 2.17** Zugänglichkeit für den Werkstückgreifer zum Magazinplatz (Durchmesser einstellbar). a) Vierpunktlaufnahme mit Stapelbildung, b) Dreipunktaufnahme für Einzelwerkstücke, 1 Schachtmagazin-Element, 2 Werkstück, 3 Greifbacke, 4 Werkstückaufnahme-Element

Das ist auch im Zusammenhang mit der Ein- und Ausgaberationg sowie mit dem für ein sicheres Greifen erforderlichen freien Zugang des Greifers zu einem Werkstück bei gegebener Größe und bei gegebener Wirk-Kinematik zu sehen. Magazine sollen sich übrigens immer auch manuell füllen oder leeren und reinigen lassen.

Das vorangegangene Bild zeigt beispielhaft die Bedingungen für eine Vierpunktlaufnahme mit Stapelmöglichkeit und eine Dreipunktaufnahme für die Einzelablage. Die Untersuchung der **Werkstückablage** setzt deshalb eine parallel dazu durchzuführende Ermittlung der Werkstückgreifmöglichkeiten voraus (siehe dazu auch Bild 2.16).

Schließlich möchte man noch eine möglichst günstige Auslastung der Speicherflächen. Der ungenutzte Freiraum (Freifläche) soll zu einem Minimum werden. Wenn man Belegungs-

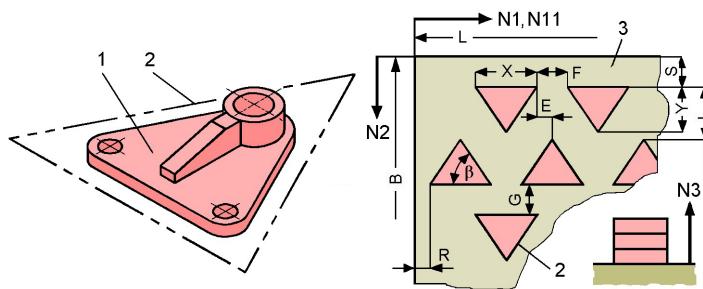
muster plant, nimmt man nicht die oft komplizierte Feinform der Werkstücke, sondern eine vergröbernde **Hüllform**. In diese kann man die Form der Werkstückaufnahmen mit einbeziehen. Beim automatischen Abgreifen können auch Freiräume, die für den Greifer nötig sind (Handhabungskanal), berücksichtigt werden. Eine Gegenüberstellung von realer und „umhüllter“ Form zeigt das Bild 2.18 an einigen Beispielen.



**Bild 2.18** Komplexe Werkstückformen und ihre minimale Hüllkontur für Planungszwecke.

## 1 Hüllform, 2 Werkstück

In Bild 2.19 wird ein anderes Beispiel vorgestellt. Die Anordnung der Teile auf einer Flachpalette ist sowohl platzsparend (gute Speicherdichte) als auch „greifereffizient“, weil die Abstände der Teile eine gute Greiffreiheit ergeben. Ob die **Stapelfähigkeit** jeweils gegeben ist, wäre zu untersuchen. Möglicherweise müsste man noch Stapelhilfen vorsehen, im Beispielfall könnten das eventuell Stapelbolzen sein, die man einsetzt.



**Bild 2.19** Entwurf eines Parkettiermusters für das Werkstück „Lagerplatte“.

1 Werkstück, 2 Hüllform, 3 Flachpalette

Die Speichermengen  $N$  ergeben sich bei vorgegebenen Speicherflächen ( $L \cdot B$ ) für die einzelnen Zeilen des dargestellten Anordnungsmusters wie folgt:

## Erste Reihe

$$N1 = \text{INT} \left[ \frac{L - 2 \cdot R - X}{X + F} \right] + 1 \quad (2.2)$$

### Zweite Reihe

$$N11 = \text{INT} \left[ \frac{L - 2 \cdot R - X - \cot \beta \cdot Y - 0,5 \cdot F}{X + F} \right] + 1 \quad (2.3)$$

$$N22 = 2 \cdot \text{INT} \left[ \frac{B - 2 \cdot S - Y - I}{Y + I + G} \right] + 2 \quad (2.4)$$

$$N222 = 2 \cdot \text{INT} \left[ \frac{B - 2 \cdot S - Y}{Y + I + G} \right] + 1 \quad (2.5)$$

$N2 = N22$ , wenn  $N22 > N222$

$N2 = N222$ , wenn  $N22 < N222$

$N3 = 1 \dots K$

Die **Gesamtspeichermenge**  $Q$  erhält man schließlich aus den folgenden Gleichungen:

$$Q = N3 \left[ 0,5 \cdot N2 \left( N1 + N11 \right) \right] \quad \text{Wenn } N2 \text{ geradzahlig} \quad (2.6)$$

$$Q = N3 \left[ (0,5 \cdot N2 + 0,5) N1 + (0,5 \cdot N2 - 0,5) N11 \right] \quad \text{Wenn } N2 \text{ ungeradzahlig} \quad (2.7)$$

Es bedeuten in den Gleichungen:

$F, G$  Werkstückzwischenraum, oft als Freiraum für die Greiferfinger nötig

$\text{INT}$  Abkürzung für INTEGER, ganzzahliger Teil eines Rechenwertes

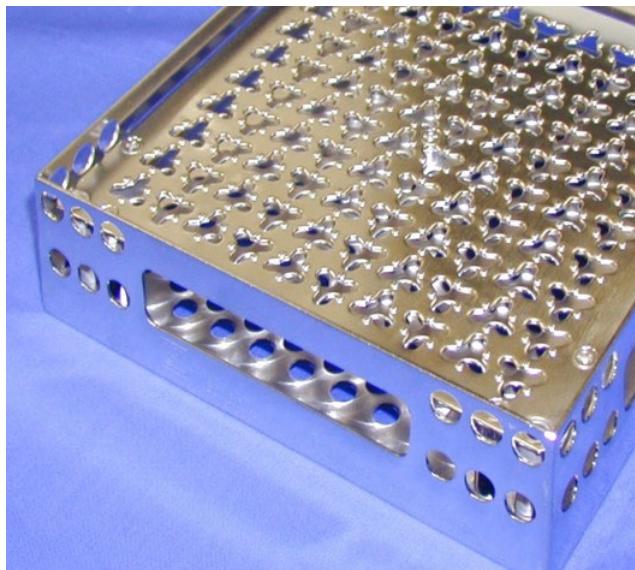
$N$  Teilmenge

$Q$  Gesamtspeichermenge

$R, S$  Abstand der Werkstückaußenfläche zum Rand des Speichers

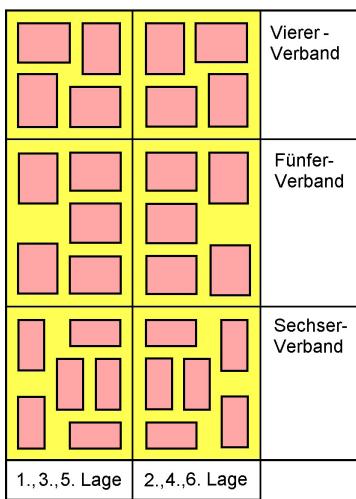
$X, Y$  Werkstückabmessungen bzw. Abmessungen einer Hüllkontur

In vielen Fällen werden die **Formnester** für das Speichergerüst in die Magazinfläche eingearbeitet. Das Bild 2.20 zeigt dafür ein Beispiel. Das Muster ist zeilenweise versetzt, die Kanten der Formnester sind grätfrei und gerundet. Das Werkstück-Trägermagazin muss sich leicht reinigen lassen (Dreistern-Löcher je Werkstückaufnahme) und es wird oft aus rostfreiem Blech oder Aluminium gefertigt. Bei Bauteilen aus Materialkombinationen darf es nicht zu einer statischen Aufladung (*static electricity*) kommen.



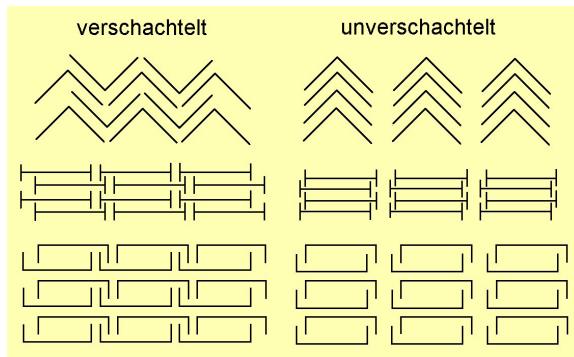
**Bild 2.20** Werkstück-Trägermagazin mit eingearbeiteten Formnestern (LK Mechanik; [www.lk-mechanik.de](http://www.lk-mechanik.de))

Aus der Logistik sind vielfältige Paletten-(Pack-)Muster bekannt, wobei aus Stabilitätsgründen möglichst ein eigenstabiler **Ladungsverbund** erreicht werden soll. Bei Variation der drei Parameter Breite, Höhe und Tiefe der Objekte und Anordnungsmuster ergeben sich sehr viele Greif- und Ablegepositionen. Das Bild 2.21 zeigt typische Palettiermuster, die sich außerdem von Lage zu Lage verändern.



**Bild 2.21** Packmuster (Draufsicht) bei einheitlich großen Objekten

Bei bestimmten Halbzeugformen lassen sich Vorteile beim Stapeln erreichen, wenn die Objekte verschachtelt magaziniert werden, wie es in Bild 2.22 zu sehen ist. Allerdings kann es auch zu Nachteilen (Verlagern) beim Transport führen.

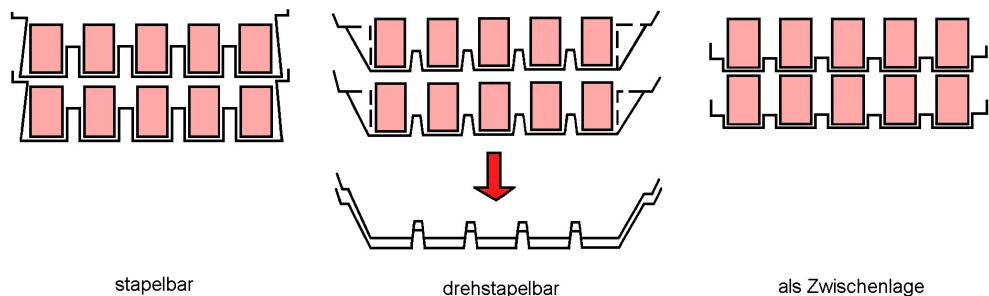


**Bild 2.22** Verschachtelte Magazinierung von Langgut (meistens Halbzeuge)

### Stapelfähigkeit (stackability)

Aussage darüber, dass Objekte, Paletten u.a. ohne oder mit Stapelhilfsmittel übereinandergestellt (gestapelt) werden können, meist in drei bis vier Ebenen [2.6].

Gelegentlich taucht der Begriff der **Drehstapelung** auf. Als „drehstapelbar“ werden Behälter bezeichnet, die durch entsprechende Auflageelemente geschachtelt („genestet“) werden können. Das dient zur Volumenreduzierung, eventuell auch erst nach einer erfolgten 180°-Horizontaldrehung. Das Bild 2.23 erläutert die Begriffe an Prinzipbeispielen.



**Bild 2.23** Stapelung von Werkstückträgern

## ■ 2.3 Werkstückverhalten

Es gibt typische Zustände, in denen sich ein Werkstück oder ganz allgemein ein Handhabungsobjekt oder mehrere im Herstellungsprozess oder in Logistikbereichen (Lagerung, Kommissionierung) befinden kann. Sie kennzeichnen das Werkstückverhalten (*workpiece behaviour*). Man unterscheidet das Verhalten einzelner Teile und solcher im Verband (Werkstückschlange), das Ruhe- und Bewegungsverhalten (siehe dazu Bild 2.4) sowie freie und erzwungene Bewegungen. Welche Arten von Bewegungen bei der Handhabung auftreten, geht aus der Tabelle 2.1 hervor.

**Tabelle 2.1** Ursache und Wirkung bei Objektbewegungen

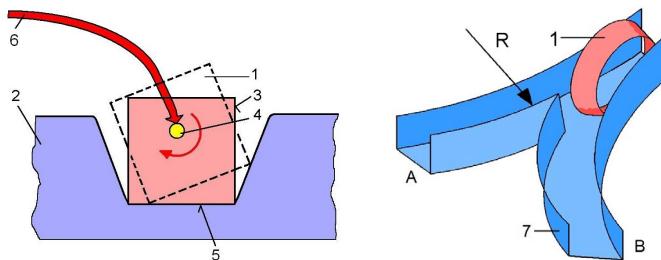
Objektbewegungen	
nach der ursächlichen Kraft	nach der Bewegungsart
freie Bewegung durch Schwerkraft	Fallen, meist geführt zum Erdmittelpunkt
erzwungene Bewegung durch zusätzliche Hilfskräfte	Rollen gerade oder im Bogen Gleiten ohne Rotationsanteil
impulsive Bewegung, bei der ein ständiger Wechsel zwischen freier und erzwungener Bewegung stattfindet, z. B. Schwingförderer	Wälz-Gleiten mit Rotationsanteil Kippen als freie Bewegung oder geführt Wenden als Bewegung um 180°

Was heißt Werkstückverhalten?

### Werkstückverhalten (*workpiece behaviour*)

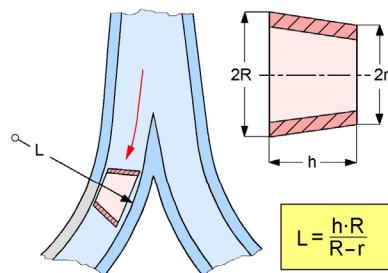
Es ist die Summe der aufeinander folgenden Zustände eines oder mehrerer Werkstücke im Verband, hervorgerufen durch äußere Kräfte, wobei Werkstückeigenschaften und Werkstückverteilung entscheidend mit einwirken. Man unterscheidet zwischen Ruhe- (Standsicherheit, Lagestabilität) und Bewegungsverhalten (Gleit-, Roll-, Hängefähigkeit, Richtungsstabilität beim Gleiten oder Rollen) und Verhalten im Haufwerk (Verhakungsneigung) u. a.

In bestimmten Fällen lassen sich die Werkstückeigenschaften derart ausnutzen, dass es zu einer **Selbstpositionierung** oder Selbtorientierung während der Handhabung kommt (Bild 2.24; siehe auch Bild 2.26).

**Bild 2.24** Geometrisch implizierte Eigenbewegung von Werkstücken.

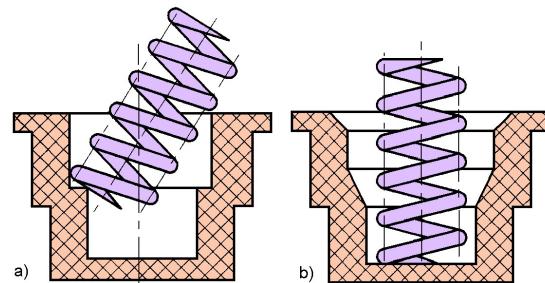
1 Werkstück, 2 Montagebasisteil, 3 Fügeteil-Endposition, 4 Masseschwerpunkt, 5 Auflagefläche, 6 rotatorische Einlegebewegung, 7 Sortierkanal (A oder B), R Rinnenradius

Der Quader erreicht beim Einlegen von selbst in der letzten Bewegungsphase die gewünschte flächige Bodenauflage. Der Ring in Kegelform sortiert sich selbst in den A- oder B-Kanal, weil der Kegel eine bogenförmige Rollkurve erzeugt. In Bild 2.25 wird die Berechnung des Rinnenradius  $L$  abhängig von den Teileabmessungen angegeben.



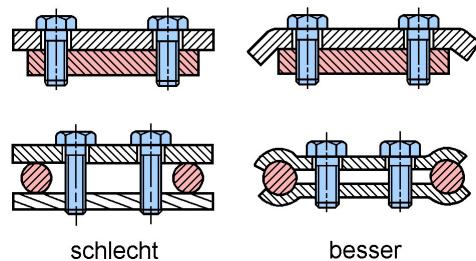
**Bild 2.25** Ordnen kegeliger Blechringe  
z. B. für die Pinselherstellung

Ein Beispiel aus der Montageautomatisierung soll die Bedeutung der Werkstückauslegung noch einmal unterstreichen. Das Bild 2.26 zeigt das Einlegen einer Druckfeder in ein Kunststoffteile. Die Einführschrägen lassen die Druckfeder von selbst in die Endposition gleiten.



**Bild 2.26** Selbstpositionierung einer Druckfeder.  
a) ursprüngliche Konstruktion mit Störkanten,  
b) überarbeitetes Design

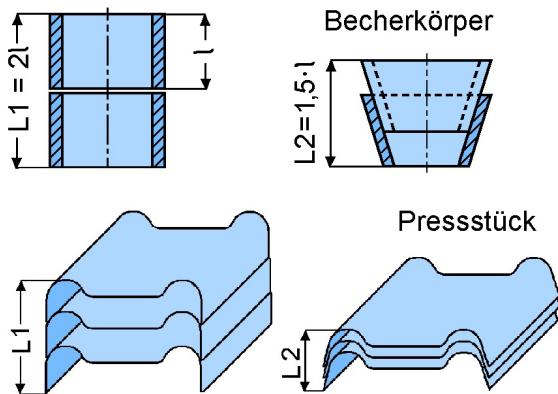
Die Herstellung der schrägen Geometrieelemente ist nicht mit einem Mehraufwand in der Herstellung verbunden und deshalb ein gutes Design. Die Selbstpositionierung lässt sich manchmal bei Montagebaugruppen positiv beeinflussen, wenn man geometrische Elemente einbezieht. Das Bild 2.27 zeigt abschließend zwei Beispiele in der Vorher-Nachher-Darstellung.



**Bild 2.27** Sich selbst positionierende Bauteile sind besser als indifferente Zustände!

In mehr als 60 % aller Fälle ist allerdings, grob gesagt, keine Selbstpositionierung erreichbar. Das kann als Automatisierungshemmnis gelten.

Die Geometrie eines Objekts beeinflusst auch die **Stapelfähigkeit (stackability)** bzw. die Aufnahmekapazität von Schachtmagazinen. Mit der Gestaltanpassung können Lagervolumina wesentlich besser genutzt werden. Das soll in Bild 2.28 an zwei Beispielen erläutert werden. Nach der Formanpassung darf es natürlich nicht zu Handhabungsschwierigkeiten kommen, wie z. B. gegenseitiges Verklemmen der Objekte.

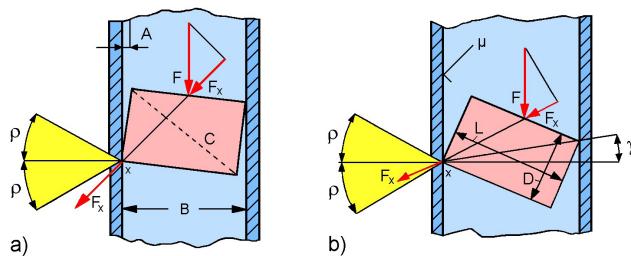


**Bild 2.28** Gestaltänderung verringert den Raumbedarf in Lager und Magazin

### 2.3.1 Fallbewegung

Fallen, Rollen und Gleiten sind meistens freie Bewegungen. Geführte Fallbewegungen kommen in der Handhabungstechnik beispielsweise bei den Schachtmagazinen (*gravity-feed magazine*) vor. Die Breite  $B$  solcher Kanäle ist so zu wählen, dass beim Fallen die Orientierung der Teile erhalten bleibt und diese sich nicht überschlagen, aber auch nicht verklemmen. Momente und Seitenkräfte sollen möglichst klein sein, damit keine unerwünschten Reibungskräfte entstehen. Die wirkenden Kräfte werden in Bild 2.29 dargestellt.

Ausschlaggebend ist die Richtung der Geraden durch den Angriffspunkt der Kraft  $F$  und den Berührpunkt  $x$  zwischen Werkstück und Magazinwand. Führt die Gerade durch den Reibungskegel, dann liegt **Selbsthemmung** vor. Ist der Reibungskoeffizient  $\mu$  für die Gleitreibung bekannt, so ist auch der Winkel  $\rho$  für den **Reibungskegel** bekannt, denn es gilt die Beziehung  $\rho = \text{arc tan } \mu$ .



**Bild 2.29** Zusammenhang zwischen Führungslänge und Führungsspiel. a) keine Selbsthemmung im Zuführkanal, Kraft  $F_x$  befindet sich außerhalb des Reibungskegels, b) Werkstück verklemmt sich und bleibt hängen, Kraft  $F_x$  befindet sich innerhalb des Reibungskegels,  $A$  Spiel,  $B$  Kanalbreite,  $C$  Werkstückdiagonale,  $F$  Schiebe- oder Werkstückgewichtskraft,  $\rho$  Reibungswinkel

Wie groß sollte das Spiel  $A$  unter Beachtung der Maßtoleranzen sein? Für das Spiel  $A$  ergeben sich gemäß Bild 2.29 [2.7] die Gl. 2.8 bis 2.12: