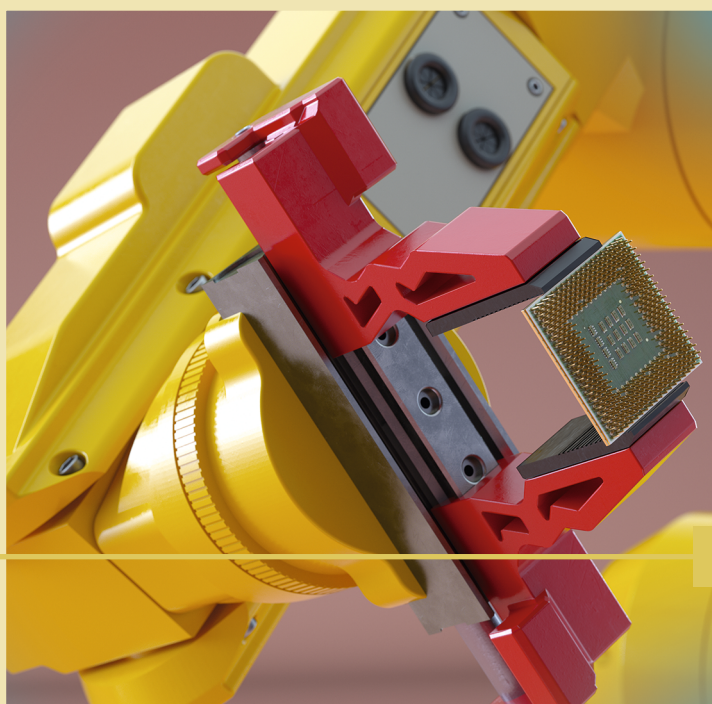


Stefan Hesse  
Viktorio Malisa



# 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 benützt werden dürften.

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 Schaff

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

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: © [gettyimages.de/Andriy Onufriyenko](http://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 Zuführungssysteme, 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, Prinzipie, 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 konzipiert 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</b>	<b>Bedeutung und Entwicklung</b> .....	<b>11</b>
	1.1 Einführung .....	12
	1.2 Geschichtlicher Rückblick .....	17
	1.3 Handhabungstechnik im Produktionssystem .....	25
<b>2</b>	<b>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</b>	<b>Handhabungsvorgänge</b> .....	<b>98</b>
	3.1 Funktionen und Sinnbilder .....	98
	3.2 Aufstellen von Funktionsplänen .....	104
	3.3 Zeitmanagement .....	107
<b>4</b>	<b>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	Stapeleinrichtungen	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

## **5 Flexible Handhabungstechnik** 420

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	Gelenkbremmung	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	DENAVID-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

**12 Handhabungstechnik beim Gesenkschmieden ..... 576**

**Hinweise zum Zusatzmaterial ..... 578**

**Sachwortverzeichnis ..... 579**

**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 ΕΡΙΚΤΕΤ (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*)

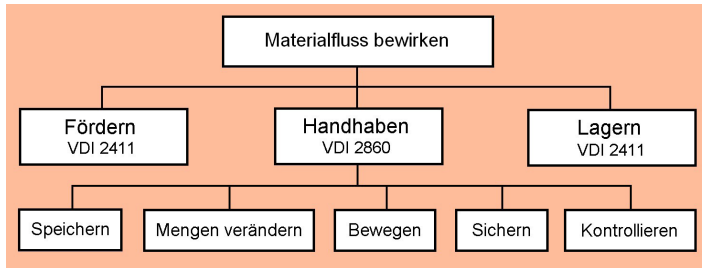
Schaffen, definiertes Verändern oder vorübergehendes Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskoordinatensystem, ohne beabsichtigte Veränderungen am Objekt selbst. Handhabung ist ein Vorgang im Aktionsbereich von Arbeitsplätzen und Fertigungseinrichtungen. 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 Teilfunktion des **Materialflusses** (*flow of materials*) neben dem Fördern und Lagern integraler Bestandteil aller Abschnitte der Fertigung eines Produkts. Eine erste Zuordnung der Teilfunktionen des Handhabens nach VDI (Verein Deutscher Ingenieure) geht aus Bild 1.1 hervor.



**Bild 1.1** Teilfunktionen 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.“*

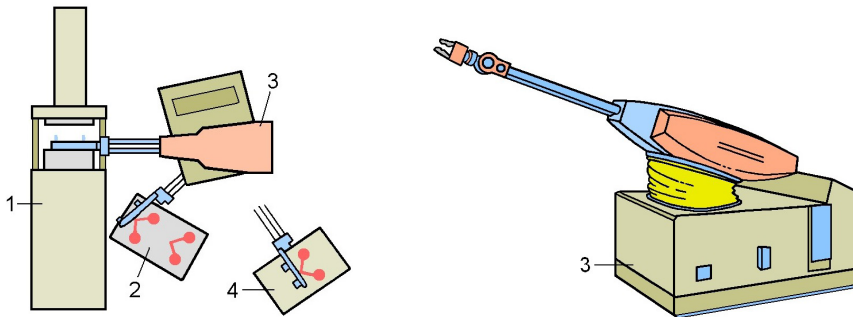
Zehn Jahre später (1961) wurde erstmals freiprogrammierbare Handhabungstechnik industriell eingesetzt. Es war ein Industrieroboter der US-Firma Unimation (U.S.-Patent 2988237), der Druckgussteile in Mehrmaschinenbedienung zu bewegen hatte (Bild 1.2).

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:

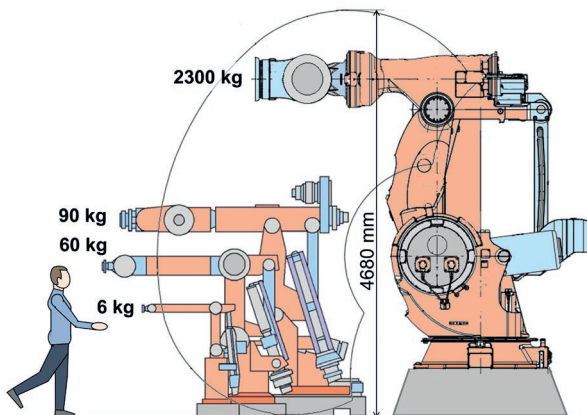
- Automation mit unveränderbarem Funktionsinhalt: Diese ist für die Massenproduktion typisch. Die Produkte erfahren über längere Zeit keine Veränderung.
- Automation mit programmierbaren Automaten: Kleine und mittlere Stückzahlen lassen sich wirtschaftlich fertigen. Die Automaten arbeiten mit einem Programm, 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.

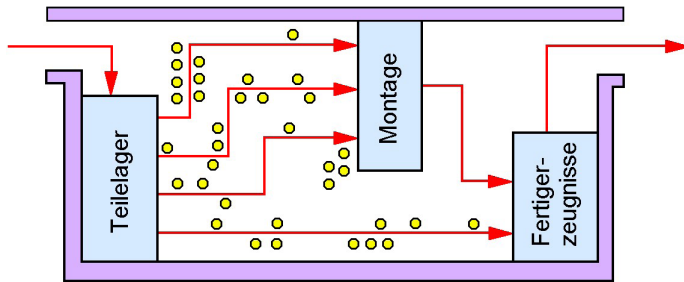


**Bild 1.3** Größenvergleich von Robotern für die Werkstückhandhabung

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 Produktionssystem. 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 Massenfertigung und häufig in der Peripherie eines Roboterarbeitsplatzes benötigt.

Werden Werkzeuge gehandhabt, dann gehört der Ablauf zum wertschöpfenden 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, Halbzeuge, 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.

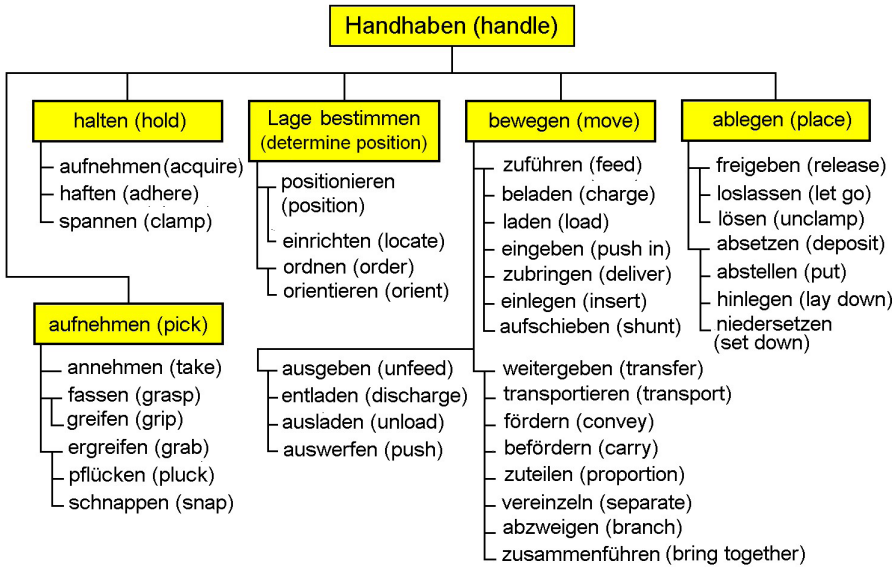
Zur Abgrenzung von Zuführeinrichtungen gegenüber Fördermitteln kann man auch eine Einteilung in 4 Stufen vornehmen [1.5]. Zubringe- bzw. Zuführeinrichtungen bewirken danach den Materialfluss innerhalb einer Produktionseinrichtung in der vierten Stufe. Die erste Stufe beinhaltet den außerbetrieblichen 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.

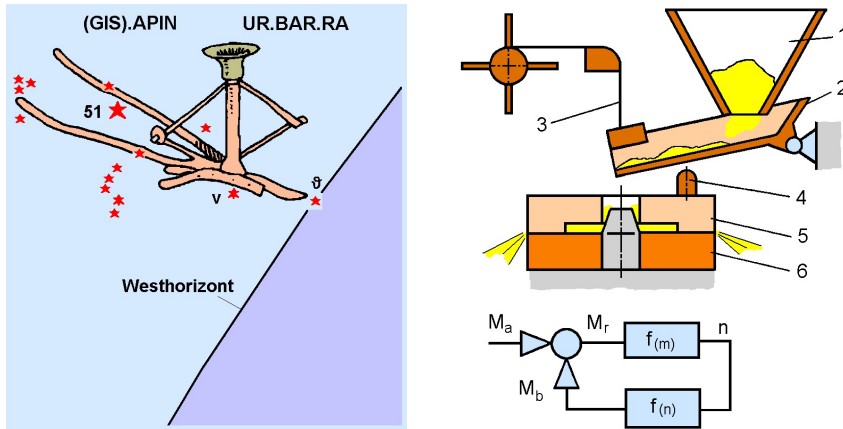


**Bild 1.5** Lexemparadigma „Handhabungsoperationen“

## ■ 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 Saattrichter 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.

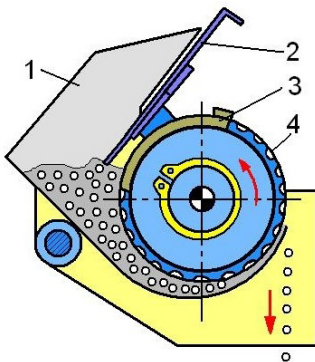
Im Mittelalter beschreibt der Kriegingenieur des Königs HEINRICH III. von Frankreich, AGOSTINO RAMELLI (um 1531–1608), in einem großen Maschinenbau-Buch (1588) die Zuführung (*feed*) von Getreidekörnern zum Mahlstein. Dieser Vorgang war bereits auf rein mechanische Art in einen **Regelkreis** eingebunden: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



**Bild 1.6** Saattrichter und Mühlenhüpfel 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 selbsttätige 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 Zuführereinrichtung für Saatgut im Querschnitt. Der Säradeneinschub beeinflusst die Ausbringleistung und am Särad sind mehrere Reihen mit Kavitäten („Nocken“) nebeneinander angeordnet, um eine bestimmte Arbeitsbreite zu bekommen.



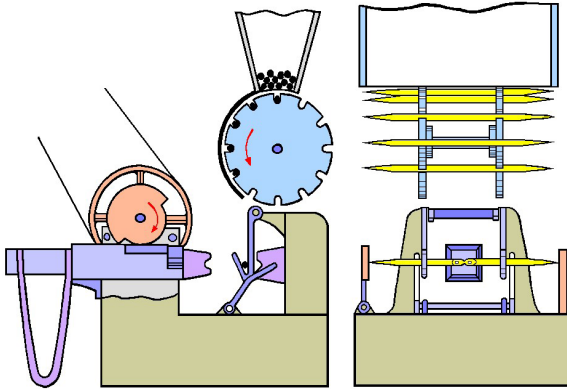
**Bild 1.7** Saatgutzuführereinrichtung.

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

In der Mitte des 19. Jahrhunderts findet man bereits an Drehautomaten zur Herstellung von Holzschrauben Zuführereinrichtungen (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 selbsttätiger 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)

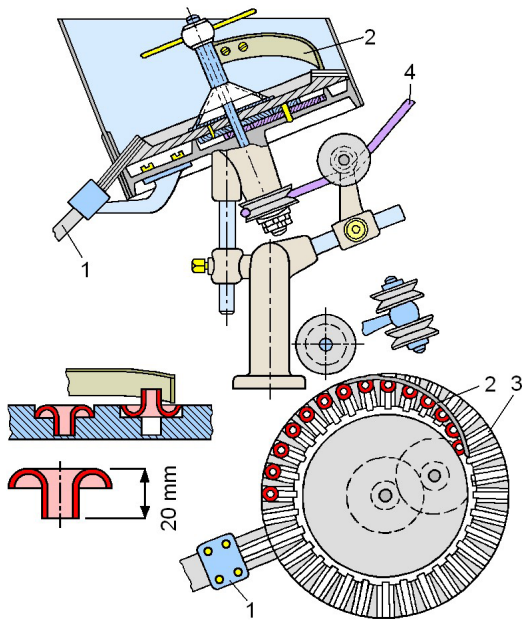


**Bild 1.8** Nadelprägemaschine mit automatischer Teilezuführung vom Mechaniker KAISER aus Iserlohn (1871)

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 Hohlrieten 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 Hohlriete in der Lederwarenbranche (um 1940).  
1 Auslaufschiene, 2 Abstreiffeder für falsch liegende Teile, 3 Drehteller mit 60 Nuten, 4 Antriebsriemen, Rundriemen

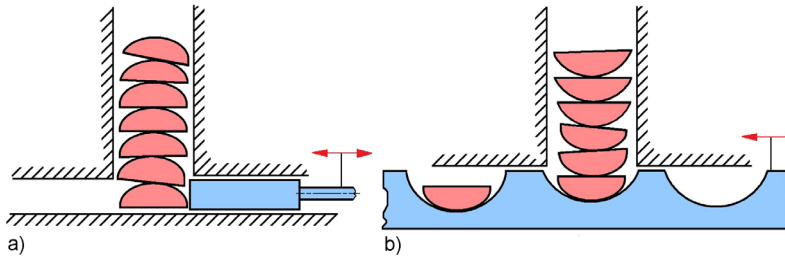
Herkt, Werkstückzuführung durch Magazine, Zeitschr. Masch./Betrieb 13 (1934), Nr. 17/18.  
Herkt, Selbsttätige Werkstückzuführung, Zeitschr. Masch./Betrieb 14 (1935), Nr. 1/2.  
Seiler, Das Zuführen und Gleichrichten von Werkstücken, Zeitschr. Die Werkzeugmaschine (1930), Heft 8 und 9.

**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:

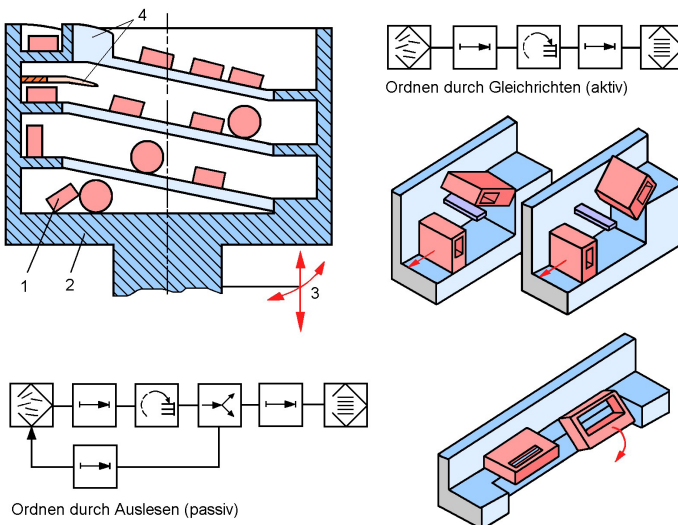
- Teilezuführung (Vereinzeln) mit Schieber
- Teilezuführung durch Drehteller
- Teilezuführung durch Drehtrommel
- Teilezuführung nach dem Schöpfprinzip
- Teilezuführung mit Saugluft
- Teilezuführung mit Elektromagnet

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



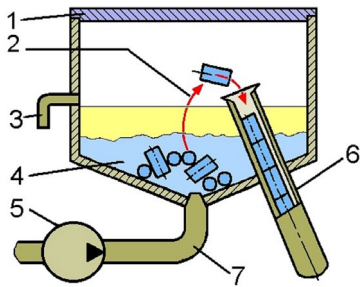
**Bild 1.11** Entstörung eines Vereinzlers durch richtige Wahl des Zuteilelements.  
a) Störungen durch ungünstige Teileform, b) Nachteile behoben durch endlose Muldenkette

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 selbsttätig 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 Hauptprinzipie des Ordnen 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.

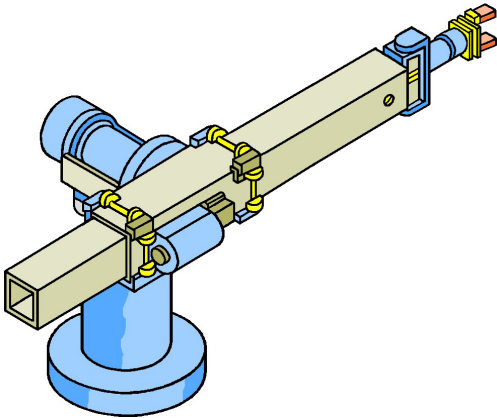


**Bild 1.13** Ordnen kleiner Zylinder aus einem Ölbad (nach BOOTHROYD und LUND 1979).

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

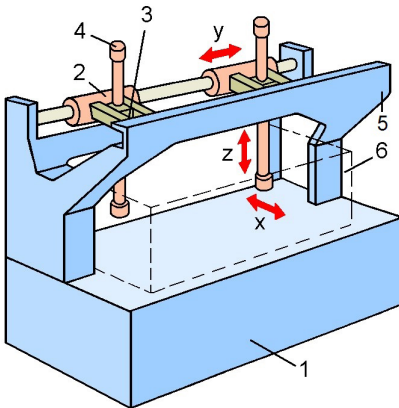
Für das flexible Handhaben wurden die Industrieroboter entwickelt. Flexibel und programmierbar ist allerdings nur der Bewegungsablauf des Effektorführungsgetriebes (Manipulator-, Roboterarm). Wichtige Etappen dieser Entwicklung waren:

- 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 Sechsenachsen-**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.



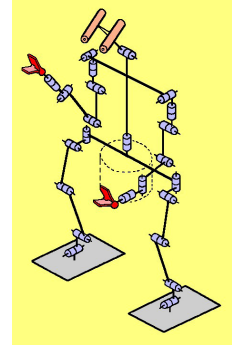
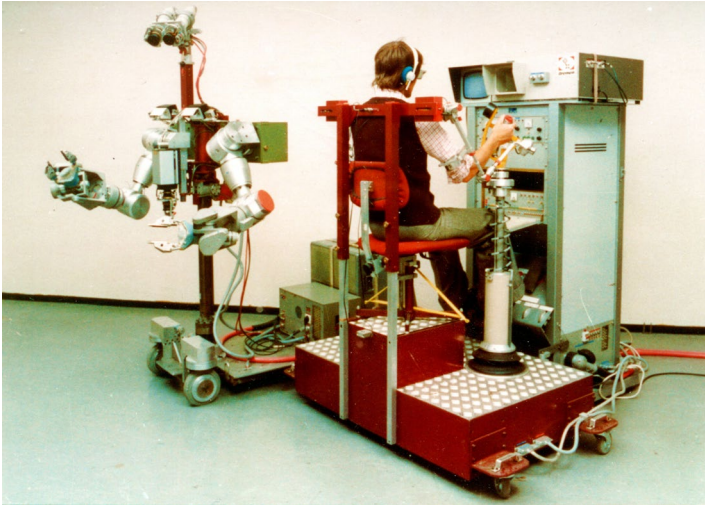
**Bild 1.14** Stanfordarm, entwickelt von VICTOR SCHEINMAN (1969)

- 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 Linearachse, 3 Querachse, 4 Hubachse, 5 Portal, 6 Arbeitsraum

Bereits 1969 wurde ein **anthropomorph**-tradiierter 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*)

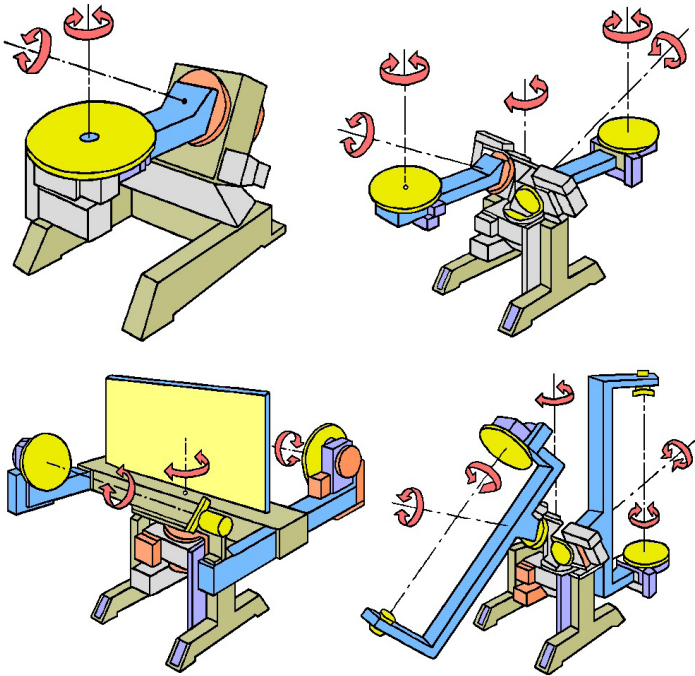
Handgesteuerte mechanische Bewegungseinrichtung, vornehmlich für Handhabungsaufgaben. Auch ein segmentierter und automatisch gesteuerter Roboterarm wird als Manipulator bezeichnet.

### **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 Handlungseinheiten, 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.



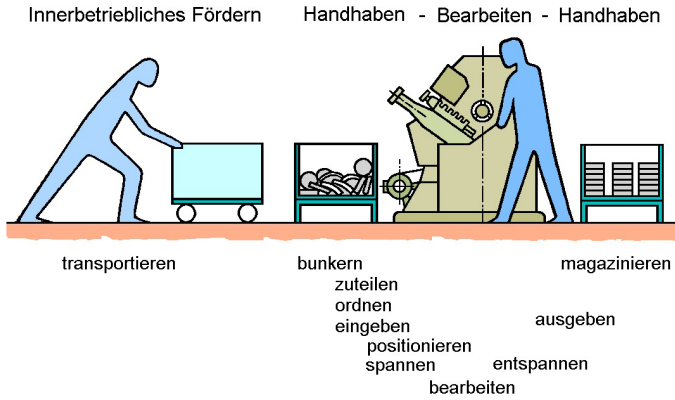


**Bild 1.17** Gestaltungsbeispiele für die Peripherie an Schweißroboterarbeitsplätzen in Form von Kipp- und Drehtischen (*positioner*)

## ■ 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:

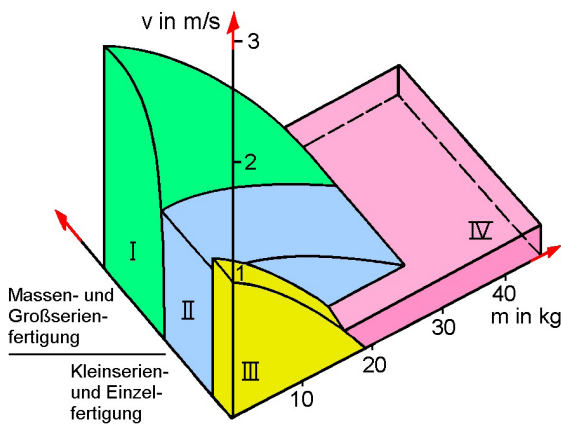
- manuell gesteuerte Bewegungseinrichtungen, wie Manipulatoren, Tele- und Master-Slave-Manipulatoren (*master-slave-manipulators*) sowie
- programmgesteuerte Bewegungsautomaten, wie festprogrammierte Einlegegeräte (*pick & place unit, pick & place robot*) und frei programmierbare Industrieroboter (*industrial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

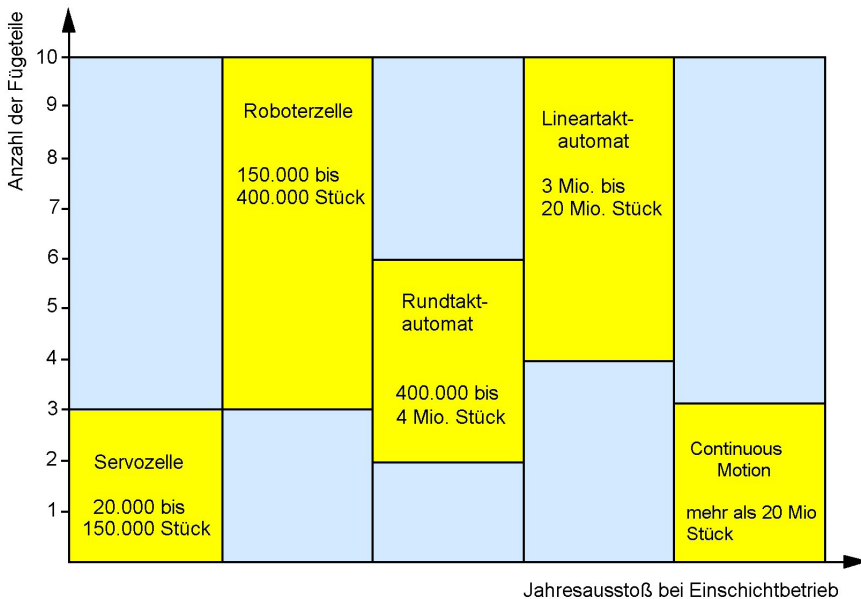


Zur Verbesserung der Werkstückhandhabung kann man einen **Kriterienplan** mit den zu fordernden Zielen zusammenstellen, aus denen man dann abgeleitete Ziele generieren kann (Tabelle 1.1).

**Tabelle 1.1** Kriterienplan zur Verbesserung des Werkstückhandlings

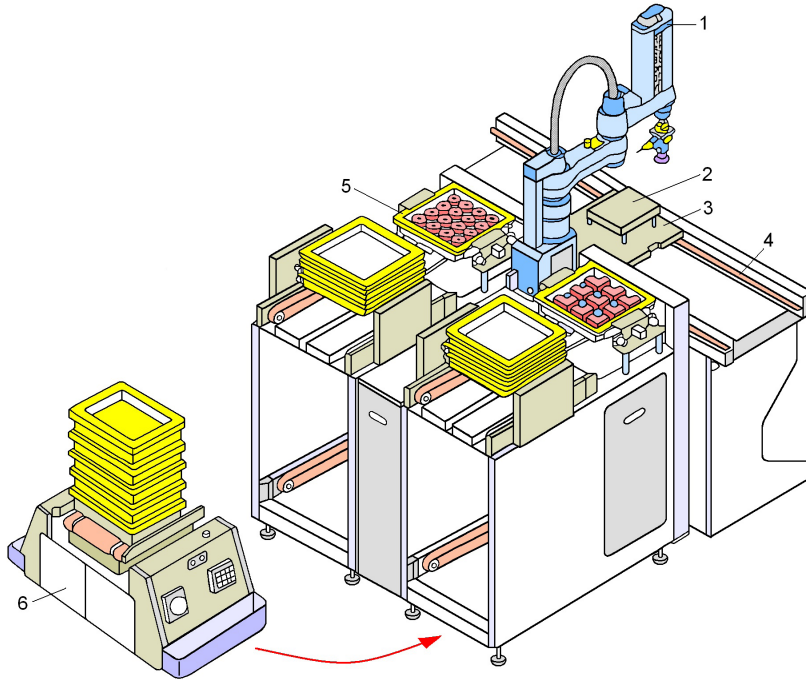
Hauptziel	abgeleitete Einzelziele
geringer Handlingaufwand	Vereinheitlichung des Werkstückdesigns; Standardisierung der Aufnahme- und Spannflächen; Beibehaltung der Werkstückordnung; Zusammenfassung mehrerer Werkstücke in einem Ganzen
Flexibilität der Zubringeeinrichtungen	Vermeidung werkstückspezifischer 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 Leerpalletten erfolgt selbsttätig. Interne Hubsysteme bewegen die Palettenstapel.



**Bild 1.21** Roboterassistierte 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).