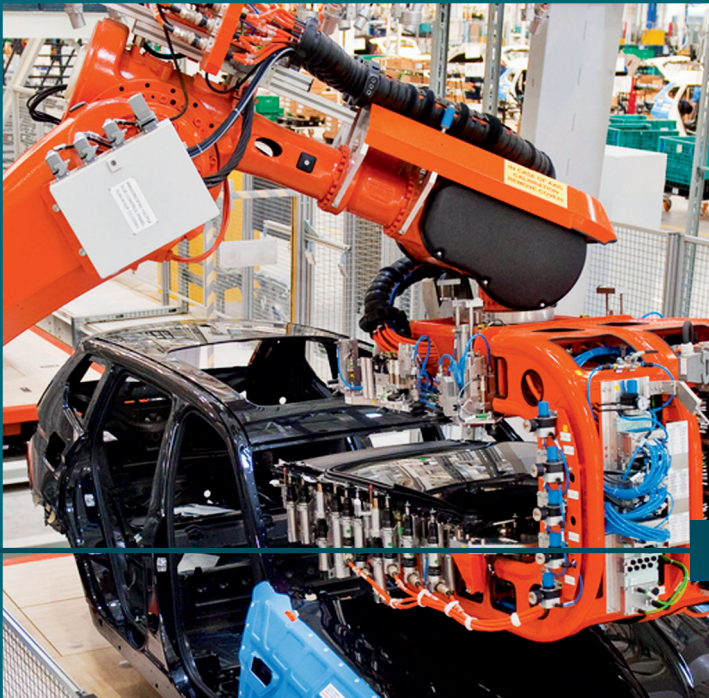


Reinhard Koether  
Alexander Sauer

# Fertigungs- technik

für Wirtschaftsingenieure



5., überarbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Koether/Sauer  
Fertigungstechnik  
für Wirtschaftsingenieure



Reinhard Koether / Alexander Sauer

# Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure

5., überarbeitete und erweiterte Auflage  
unter Mitarbeit von Dirk Odening

Mit 406 Bildern und 41 Tabellen  
sowie 30 Übungsaufgaben und 53 Kontrollfragen

Die Lösungen der Kontrollfragen befinden sich unter [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de).

HANSER

## **Autoren:**

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Koether (Kapitel 1, 2, 4 – 8, 12 – 14)  
Hochschule für angewandte Wissenschaften – HS München  
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen der Hochschule München

Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer (Kapitel 9 – 11)  
Universität Stuttgart  
Leiter des Instituts für Energieeffizienz in der Produktion

Unter Mitarbeit von Dr.-Ing. Dirk Odening (Kapitel 3)



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

ISBN 978-3-446-44831-5  
E-Book-ISBN 978-3-446-44990-9

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt 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 dürften.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2017 Carl Hanser Verlag München  
[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)  
Lektorat: Ute Eckardt  
Herstellung: Katrin Wulst  
Einbandrealisierung: Stephan Rönigk  
Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell  
Druck und Bindung: Hubert & Co, Göttingen

Printed in Germany

# Vorwort zur 5. Auflage

Zwei wichtige Trends bestimmen aktuell die Lage in der deutschen Industrie: Die Digitalisierung – auch mit Industrie 4.0 bezeichnet und die zunehmende Relevanz der Ressource Energie. Beide Trends werden die Kosten in der Fertigung zukünftig stärker beeinflussen. Gleichzeitig gilt es, die Qualität der Produkte auf hohem Niveau zu halten, um die führende Position der fertigungstechnischen Industrie auf den Weltmärkten abzusichern.

Wirtschaftsingenieure werden bevorzugt an Schnittstellen zwischen wirtschaftlichen und technischen Aufgabenstellungen eingesetzt. Dazu gehört auch die Fertigungsplanung mit der Auslegung der Herstellungsprozesse und der Ablaufplanung für konkrete Fertigungsaufträge. Jedoch brauchen nicht nur Fertigungsplaner fertigungstechnisches Wissen. Auch im Einkauf, in der Projektleitung oder im Controlling produzierender Unternehmen wird Know-how über Fertigungsverfahren und Fertigungsparameter benötigt, um z. B. Kosten zu beurteilen oder um die Fähigkeit von Lieferanten und mögliche Risiken während der Beschaffung einzuschätzen.

Das vorliegende Buch ist aus unseren Vorlesungen an der Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen der Hochschule München entstanden. Eingeflossen sind auch unsere Erfahrungen aus der Berufspraxis, aus Beratungsprojekten sowie Projekten an der Universität Stuttgart sowie dem Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Das Buch will Wirtschaftsingenieuren einen Überblick über die gängigen Fertigungsverfahren zur Metallbearbeitung geben und neben den technischen Grundlagen und Abläufen auch die wirtschaftlichen Auswirkungen der Technik zeigen.

Unsere Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure bietet einen kompakten Überblick über Fertigungsverfahren und Maschinen. Dazu greift es die oben genannten Megatrends auf. Auch deshalb wendet sich das Buch nicht nur an Wirtschaftsingenieure, sondern an alle, die fertigungsnahe Aufgaben zu lösen haben, also auch an Betriebswirte oder Ingenieure, die eine Übersicht über Fertigungsverfahren bekommen wollen.

Für die 5. Auflage wurde die Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure grundlegend inhaltlich neu bearbeitet. So konnten wir für die Modernisierung des Kapitels Umformtechnik Herrn Dr. Odening gewinnen. Den additiven Fertigungsverfahren wurde wegen ihrer zunehmenden Bedeutung in der Praxis auch im Buch deutlich mehr Raum gegeben. Auch der zunehmenden Bedeutung des Energieverbrauchs in der Industrie für unsere Zukunft haben wir mit der Erstellung eines neuen Kapitels Rechnung getragen. Dazu wurde das Layout modernisiert, sodass das Buch jetzt auch als ebook erhältlich ist.

Wir danken dem Carl Hanser Verlag für die beharrliche Unterstützung des Projekts. Ebenso danken wir dem Coautor der bisherigen Auflagen, Herrn Prof. Dr. Rau für die umfangreichen Vorarbeiten. Unser besonderer Dank gilt unseren Ehefrauen Ingelore Koether und Verena Sauer, die die besonderen Belastungen durch die Arbeit an diesem Buch geduldig mitgetragen haben und durch Korrektur lesen aktiv zum Gelingen beigetragen haben.

Gauting und Stuttgart, Oktober 2016

Reinhard Koether  
Alexander Sauer

# Inhalt

<b>Vorwort zur 5. Auflage</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Grundlagen</b> .....	<b>13</b>
1.1 Aufgaben der Fertigungstechnik .....	13
1.2 Hauptgruppen der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 .....	18
1.3 Auswahl von Fertigungsverfahren .....	19
1.4 Wesentliche Eigenschaften der Fertigungsverfahren .....	21
<b>2 Urformende Fertigungsverfahren</b> .....	<b>26</b>
2.1 Gießen .....	27
2.1.1 Stranggießen .....	27
2.1.2 Gießen in verlorene Formen .....	28
2.1.3 Gießen in Dauerformen .....	35
2.1.4 Verfahrensvergleich Sandguss – Kokillenguss .....	39
2.1.5 Gießerei .....	41
2.2 Sintern von Metallwerkstoffen .....	43
2.2.1 Verfahrensablauf .....	44
2.2.2 Vergleich pulvermetallurgischer Fertigungsverfahren .....	49
2.2.3 Vorteile, Nachteile und Anwendungsfelder des Sinterns .....	51
2.3 3D-Druck .....	53
2.3.1 3D-Druckverfahren .....	53
2.3.2 Verfahrensvergleich 3D-Druckverfahren .....	59
2.3.3 Anwendung 3D-Druck .....	61
<b>3 Umformende Fertigungsverfahren</b> .....	<b>64</b>
3.1 Grundlagen des Umformens .....	66
3.2 Massivumformen .....	76
3.2.1 Stauchen .....	76



---

3.2.2	Frei- und Gesenkformen	78
3.2.3	Verfahrensvergleich Gesenkformen – Gießen	82
3.2.4	Walzen	84
3.2.5	Eindrücken	90
3.2.6	Strangpressen und Fließpressen	92
3.2.7	Verfahrensvergleich Strangpressen – Walzen	97
3.2.8	Gleitziehen	98
3.2.9	Rundkneten	101
3.3	Blech- und Profillumformen	104
3.3.1	Biegen	104
3.3.2	Tiefziehen	106
3.3.3	Verfahrensvergleich Tiefziehen – Fließpressen	111
3.3.4	Tiefziehen mit elastischen Werkzeugen und Wirkmedien	112
3.3.5	Streckziehen	114
3.3.6	Walzprofilieren, Walzziehen, Walzrichten	116
3.3.7	Drücken	118
3.3.8	Verfahrensvergleich Drücken – Tiefziehen	122
3.3.9	Innenhochdruck-Umformen (IHU)	123
<b>4</b>	<b>Trennende Fertigungsverfahren</b>	<b>125</b>
4.1	Zerteilen – Spanloses Trennen	125
4.1.1	Scherschneiden	127
4.1.2	Feinschneiden	129
4.1.3	Werkzeuge für Umform- und Schneidvorgänge	131
4.2	Zerspanungstechnik	133
4.2.1	Bewegungen und Geometrie am Schneidwerkzeug	133
4.2.2	Schnitt-, Spanungsgrößen und Spanbildung	139
4.2.3	Schnittkraft, Leistungsbedarf und Hauptnutzungszeit	144
4.2.4	Schneidstoffe und Kühlschmierstoffe	151
4.2.5	Werkzeugverschleiß und Werkstückoberfläche	157
4.2.6	Standzeit eines Werkzeuges	162
4.2.7	Optimierung der Zerspanung	164
4.2.8	Zerspanbarkeit von Werkstoffen	167
4.2.9	Trends in der spanenden Fertigung	167
4.3	Spanende Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmten Schneiden	172
4.3.1	Drehen	172
4.3.2	Bohren, Senken und Reiben	176
4.3.3	Fräsen	182
4.3.4	Räumen	187

---

4.3.5 Sägen .....	190
4.3.5.1 Werkzeuge .....	192
4.3.5.2 Maschinen .....	192
4.4 Spanende Fertigungsverfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden	193
4.4.1 Schleifen .....	195
4.4.2 Honen .....	199
4.4.3 Läppen .....	201
4.4.4 Strahlspanen, Strahlen und Reinigen .....	203
4.4.5 Entgraten .....	205
4.5 Abtragende Verfahren .....	208
4.5.1 Erodieren .....	209
4.5.2 Verfahrensvergleich Erodieren - Fräsen .....	213
4.5.3 Laserbearbeitung .....	214
4.5.4 Verfahrensvergleich Laserbrennschneiden - Nibbeln .....	216
4.5.5 Wasserstrahlschneiden .....	218
<b>5 Fügende Fertigungsverfahren .....</b>	<b>221</b>
5.1 Montage .....	222
5.2 Schweißen .....	224
5.2.1 Autogenschweißen .....	225
5.2.2 Lichtbogenschweißen .....	227
5.2.3 Laserstrahlschweißen .....	233
5.2.4 Widerstandspressschweißen .....	236
5.2.5 Ultraschallschweißen und Reibschweißen .....	241
5.3 Löten .....	242
5.3.1 Weichlöten .....	244
5.3.2 Hartlöten .....	246
5.3.3 Verfahrensvergleich Laserstrahlschweißen - MIG/MAG-Schweißen - Hartlöten .....	249
5.4 Kleben .....	252
5.5 Fügen durch Umformen .....	255
5.5.1 Nieten .....	256
5.5.2 Clinchen oder Durchsetzfügen .....	260
5.5.3 Falzen und Bördeln .....	262
5.6 Schrauben .....	264
5.7 Klipsen und Einrasten .....	268

<b>6 Beschichten</b> .....	<b>270</b>
6.1 PVD- und CVD-Verfahren .....	273
6.2 Lackieren und Lacksysteme .....	275
6.3 Tauchlackieren .....	277
6.4 Spritzlackieren .....	279
6.5 Emaillieren .....	285
6.6 Thermisches Spritzen .....	287
6.7 Galvanisieren, Oxidieren und elektrolytische Tauchabscheidung .....	291
6.8 Wirbelsintern und elektrostatisches Pulverbeschichten .....	293
6.9 Coil Coating .....	296
6.10 Prozesstechnische Pkw-Serienlackierung .....	296
<b>7 Werkzeugmaschinen</b> .....	<b>300</b>
7.1 Einführung .....	300
7.2 Gestelle .....	302
7.3 Schlitten und Tische .....	308
7.4 Führungen .....	308
7.5 Lagerungen .....	315
7.6 Antriebe .....	318
7.6.1 Hauptantriebe .....	319
7.6.2 Nebenantriebe .....	323
7.7 Getriebe .....	326
7.7.1 Translationsgetriebe .....	326
7.7.2 Rotationsgetriebe .....	329
7.8 Beispiele für Werkzeugmaschinen .....	334
7.8.1 Spanende Werkzeugmaschinen .....	335
7.8.2 Werkzeugmaschinen für die Umformung und das Zerteilen .....	339
<b>8 Steuerung von Werkzeugmaschinen</b> .....	<b>342</b>
8.1 Aufgaben von Steuerungen in Werkzeugmaschinen .....	342
8.2 Numerische Steuerung (NC) .....	344
8.2.1 Grundlagen der numerischen Steuerung (NC) .....	344
8.2.2 Wegmesssysteme .....	349
8.2.3 Koordinatensysteme, Achsen und Nullpunkte .....	351
8.2.4 NC-Programmierung .....	359
8.2.5 Programmiermethoden .....	361

---

8.3	Logik- und Servosteuerungen .....	368
8.4	Konventionelle Programmsteuerungen .....	370
8.4.1	Kurvensteuerung .....	370
8.4.2	Kopiersteuerungen .....	371
8.5	Digitalisieren .....	372
<b>9</b>	<b>Fertigungsautomatisierung und Industrieroboter .....</b>	<b>374</b>
9.1	Fertigungsautomatisierung .....	374
9.1.1	Einführung .....	374
9.1.2	Begriffe zur Fertigungsautomatisierung .....	377
9.1.3	Ziele der Fertigungsautomatisierung .....	378
9.1.4	Automatisierungsgrad von Fertigungssystemen .....	380
9.2	Aufbau automatisierter Fertigungsanlagen .....	382
9.2.1	Systembestandteile .....	382
9.2.2	Transportieren, Verketteten und Puffern .....	384
9.2.3	Sensoren zum Überwachen, Prüfen und Sichern .....	388
9.3	Industrieroboter .....	392
9.3.1	Handhabungsmaschinen .....	392
9.3.2	Aufbau von Industrieroboteranlagen .....	395
9.3.3	Grundbauformen von Industrierobotern .....	396
9.3.4	Kenngrößen von Industrierobotern .....	399
9.3.5	Greifer- und Wechselsysteme .....	401
9.3.6	Peripheriegeräte .....	403
9.3.7	Industrierobotersteuerung und -programmierung .....	405
<b>10</b>	<b>Steigerung von Flexibilität und Produktivität .....</b>	<b>410</b>
10.1	Zielsetzung .....	410
10.2	Verkürzung der Rüstzeit .....	410
10.3	Verkürzen der Hauptnutzungszeit .....	413
10.4	Verkürzung der Nebenzeit .....	416
10.4.1	Verkürzung der Werkstückwechselzeit .....	416
10.4.2	Verkürzung der Werkzeugwechselzeit .....	419
10.5	Verkürzung der Durchlaufzeit .....	420
10.6	Verlängerung der Maschinennutzung .....	422
<b>11</b>	<b>Energieeffizienz in der Produktion .....</b>	<b>424</b>
11.1	Definitionen .....	424
11.2	Volkswirtschaftliche Aspekte .....	424
11.3	Technische Umsetzungsbeispiele .....	427

<b>12 Formelsammlung</b> .....	<b>431</b>
12.1 Massivumformen .....	431
12.2 Blech- und Profillumformen .....	435
12.3 Schneiden .....	441
12.4 Zerspanungstechnik .....	443
<b>13 Übungsaufgaben</b> .....	<b>450</b>
13.1 Spanende Fertigungsverfahren .....	450
13.2 Spanlose Fertigungsverfahren .....	459
13.3 Werkzeugmaschinen .....	462
<b>14 Kontrollfragen</b> .....	<b>463</b>
14.1 Grundlagen .....	463
14.2 Urformende Fertigungsverfahren – Gießen .....	464
14.3 Umformende Fertigungsverfahren .....	466
14.4 Spanende Fertigungsverfahren und Zerspanungstechnik .....	468
14.5 Fügende Fertigungsverfahren .....	471
14.6 Beschichten .....	472
14.7 Werkzeugmaschinen .....	473
14.8 CNC-Steuerung .....	474
14.9 Verfahrensvergleiche .....	475
<b>Literatur</b> .....	<b>477</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	<b>481</b>

# 1

## Grundlagen

### ■ 1.1 Aufgaben der Fertigungstechnik

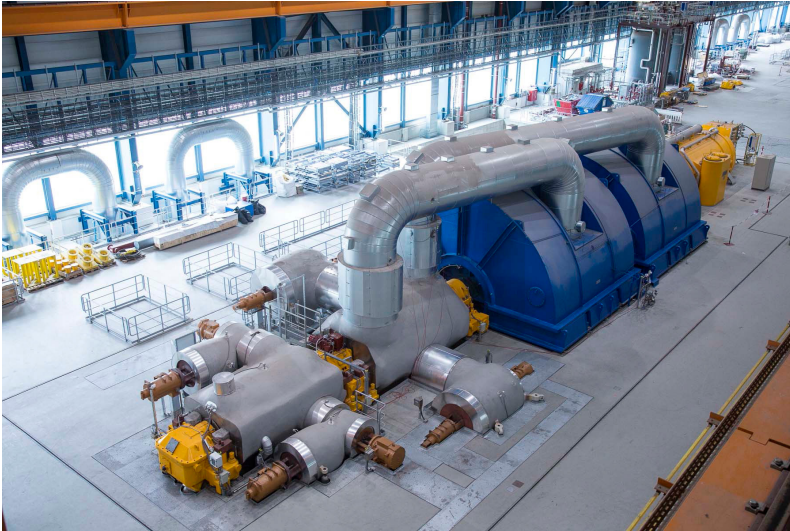
#### Was ist Fertigungstechnik?

Ziel jedes Unternehmens ist die Herstellung von Waren und Dienstleistungen. Waren werden produziert durch:

- Verfahrenstechnik: Herstellung formloser Stoffe (Bild 1.1)
- Energietechnik: Umwandlung und Verteilung von Energie (Bild 1.2)
- Fertigungstechnik: Herstellung von Werkstücken mit definierter Form und definierten Eigenschaften



**Bild 1.1** Verfahrenstechnische Anlage zur Herstellung von TDI, eines Vorprodukts von Polyurethan (BASF SE)



**Bild 1.2** Energietechnik ist eine besonders anlagenintensive Produktion: Maschinenhaus eines Kraftwerks mit Kraft-Wärme-Kopplung (*Vattenfall*)

**Fertigungstechnik** betrachtet nur einen Teilaspekt industrieller Fertigung. Zur Fertigung gehören:

- **Logistik:** Gestaltung des Materialflusses und des begleitenden Informationsflusses.
- **Personal:** Organisation, Qualifikation und Führung der Mitarbeiter.
- **Fertigungstechnik:** Auswahl der Fertigungsverfahren und Festlegen der Verfahrensparameter.

**Die Industrielle Fertigungstechnik** ist eine Ingenieurdisziplin.

- Durch Berechnungen ist das Fertigungsergebnis
  - prognostizierbar,
  - planbar,
  - optimierbar (im Rahmen der Genauigkeit der zugrundeliegenden Methoden).
- Für Detailoptimierungen sind ergänzende Versuche nötig.

**Die Industrielle Fertigung** zeichnet sich aus durch:

- hohe Kapitalausstattung für
- große Produkte (z. B. Anlagen),
- große Stückzahlen (z. B. Konsumgüter),
- arbeitsteilige Fertigung.

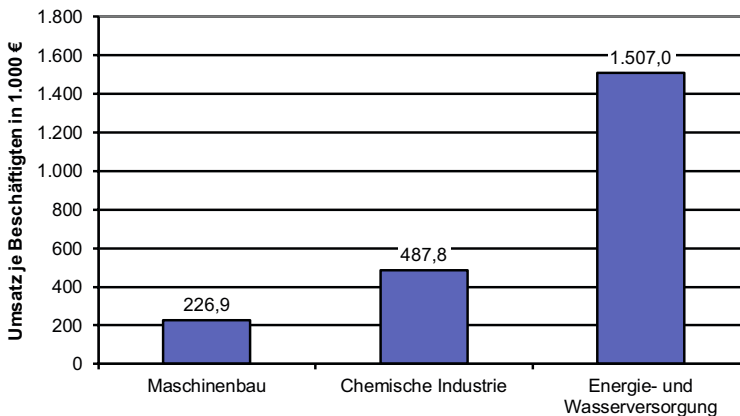
Konsequenzen sind:

- Notwendigkeit der Planung, deshalb Ingenieurarbeit,
- Notwendigkeit der Organisation der Arbeitsteilung,
- Notwendigkeit, die arbeitsteiligen Prozesse durch Materialfluss zu verbinden; die Gestaltung des Materialflusses ist Aufgabe der Logistik.

## Bedeutung der Fertigungstechnik

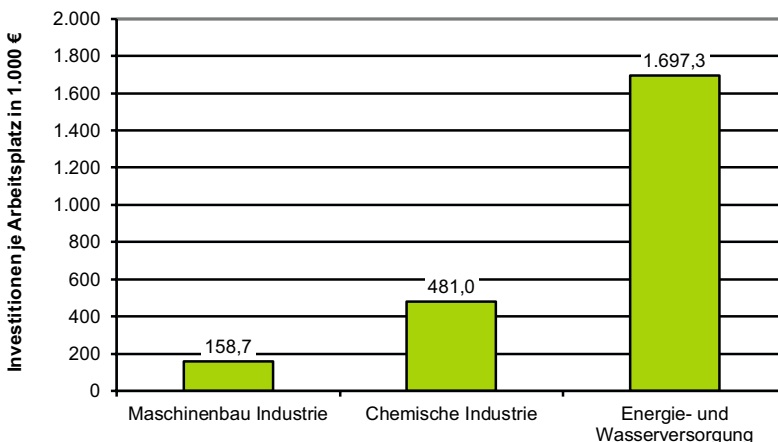
Die **fertigungstechnische Industrie** (Beispiel: Maschinenbau)

- erwirtschaftet einen höheren Umsatz je Beschäftigten als das vergleichbare Handwerk, weil ein Industriebetrieb mehr Kapital einsetzt und dadurch höhere Produktivität sichert. Wegen des hohen Kapitaleinsatzes in der chemischen Industrie und der Energietechnik müssen dort die erwirtschafteten Umsätze je Beschäftigten noch höher sein (Bild 1.3).



**Bild 1.3** Umsatz je Beschäftigten im Jahr 2013 in beispielhaft ausgewählten Branchen der Produktionstechnik; Daten: (Statistisches Bundesamt, 2015)

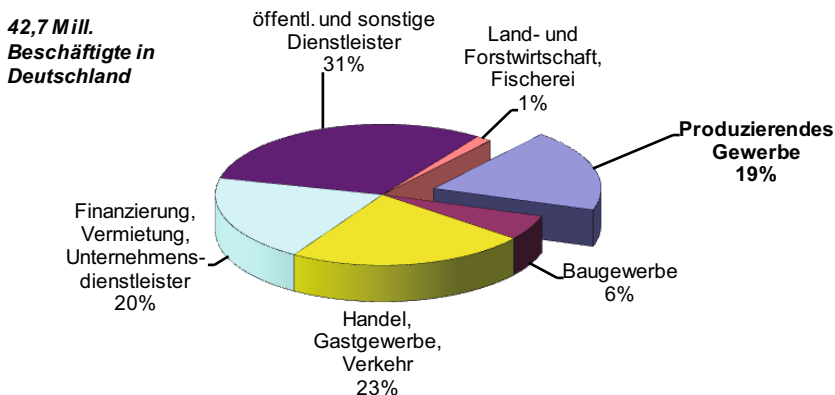
- Sie benötigt eine moderate Kapitalausstattung (Bild 1.4),
  - mehr als Dienstleistungsbetriebe,
  - weniger als verfahrenstechnische und energietechnische Betriebe.



**Bild 1.4** Durchschnittliche Investitionen je Arbeitsplatz im Jahr 2012 in beispielhaft ausgewählten Branchen der produktionstechnischen Industrie; Daten: (Institut der deutschen Wirtschaft, 2015)

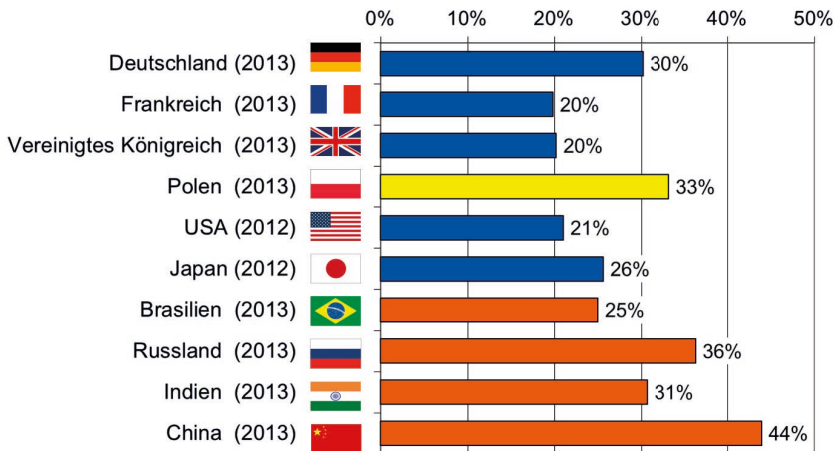


- Sie bietet deshalb eine breite Vielfalt von Betriebsgrößen
  - von der Garagenfirma
  - bis zum Weltkonzern wie Siemens oder Daimler.
- Sie bietet relativ viele Arbeitsplätze: knapp 20% der Beschäftigten in Deutschland haben ihren Arbeitsplatz im verarbeitenden Gewerbe (Bild 1.5), davon etwa ein Drittel in typischen fertigungstechnischen Betrieben, wie Maschinen- und Fahrzeugbau. Allerdings nimmt der Anteil der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe ab. Gründe sind:
  - Auslagerung von Dienstleistungen (z.B. EDV-Dienstleistungen) („Unternehmensdienstleistungen“ im Bild 1.5)
  - Verlagerung von Produktion in ausländische Standorte
- Sie erzeugt zusammen mit anderen Branchen des produzierenden Gewerbes den wesentlichen Beitrag zum Exportüberschuss Deutschlands und ist damit die Grundlage für den Wohlstand einer breiten Bevölkerung (vgl. dazu z. B. [Rürup; Heilmann]).
- Sie kann ihre Produkte leicht exportieren und steht deshalb im internationalen Wettbewerb (durchschnittliche Steigerung der Arbeitsproduktivität zwischen 2005 und 2014 um 2% pro Jahr in der Automobilindustrie, 0,3% pro Jahr im Maschinenbau, Daten: [Statistisches Bundesamt 2016]).



**Bild 1.5** Anteil der Erwerbstätigen in Wirtschaftsbereichen in Deutschland im Jahr 2014; Daten: (Institut der deutschen Wirtschaft, 2015)

Im internationalen Vergleich ist in Deutschland der Anteil des produzierenden Gewerbes an der Wirtschaftsleistung (genauer: der Anteil an der Bruttowertschöpfung) hoch (Bild 1.6). In anderen Industrieländern hat die Bedeutung der Produktion gegenüber den Dienstleistungen abgenommen. Nur in den einzelnen Niedriglohnländern Europas und in einigen Schwellenländern ist der Anteil des produzierenden Gewerbes noch höher.



**Bild 1.6** Anteil des produzierenden Gewerbes an der Brutto-Wertschöpfung einer Volkswirtschaft – ausgewählte Beispiele für Industrieländer, europäische Niedriglohnländer und Schwellenländer (Statistisches Bundesamt, 2015)

### Konsequenzen für Wirtschaftsingenieure:

Das Wirtschaftsingenieurstudium qualifiziert nicht vorrangig für typische Dienstleistungsbranchen wie Handel, Gastronomie oder Finanzdienstleistungen; auch im öffentlichen Dienst sind nur wenige Wirtschaftsingenieure beschäftigt.

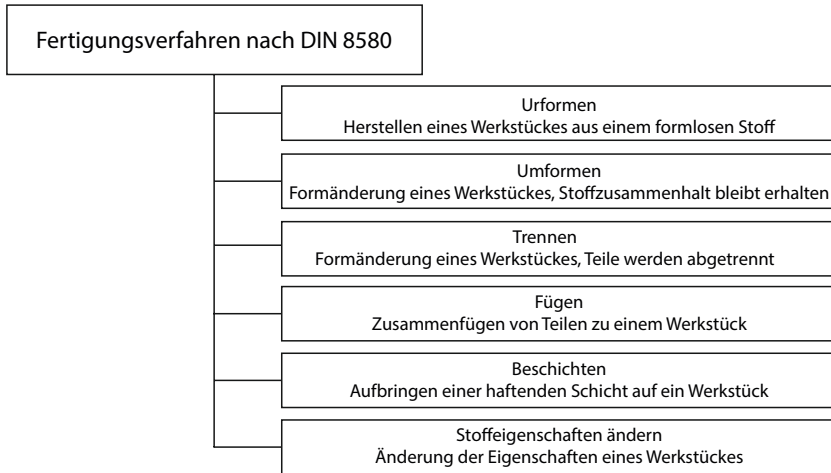
- Mit hoher Wahrscheinlichkeit finden Wirtschaftsingenieure ihre spätere Tätigkeit in einem fertigungstechnischen Betrieb und/oder
- Wirtschaftsingenieure pflegen Kunden- und Lieferantenbeziehungen zu einem fertigungstechnischen Betrieb.

Beispielhafte **Berufsfelder für Wirtschaftsingenieure**, bei denen fertigungstechnisches Wissen vorteilhaft sein kann:

- Arbeitsvorbereitung, Fertigungsplanung,
- Qualitätssicherung,
- Fertigungslogistik,
- Einkauf,
- Controlling,
- Investitionsplanung,
- Marketing und Verkauf von Investitionsgütern.

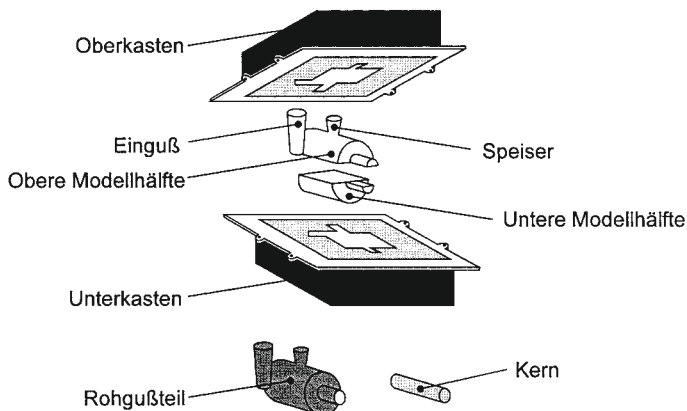
## ■ 1.2 Hauptgruppen der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Die DIN 8580 gliedert die Fertigungsverfahren in 6 Hauptgruppen (Bild 1.7):

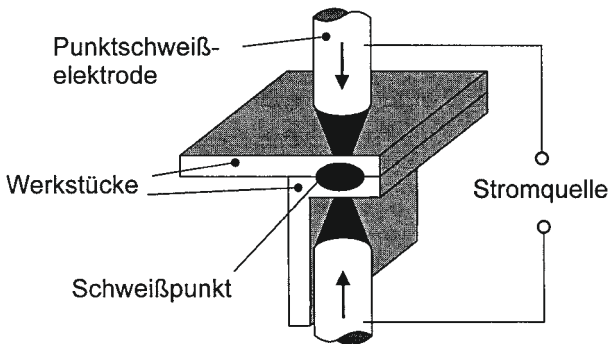


**Bild 1.7** Fertigungsverfahren nach DIN 8580

- **Urformen** z. B. Gießen (Bild 1.8), Sintern
- **Umformen** z. B. Walzen, Schmieden
- **Trennen** z. B. Fräsen, Brennschneiden
- **Fügen** z. B. Schrauben, Schweißen (Bild 1.9)
- **Beschichten** z. B. Lackieren, Galvanisieren
- **Stoffeigenschaften ändern** z. B. Härten



**Bild 1.8** Urformen, Fertigungsverfahren Gießen: Sandguss mit verlorener Form (*Hering*)



**Bild 1.9** Fügen, Fertigungsverfahren Schweißen: Widerstandspunktschweißen (Hering)

Wegen der breiten Anwendung und der wirtschaftlichen Bedeutung konzentriert sich das vorliegende Buch auf die Metallbearbeitung und deren Maschinen. In den Kapiteln 2 bis 6 werden die wichtigsten Fertigungsverfahren, ihre Parameter und wichtigsten Kosteneinflussgrößen dargestellt. Die Verfahren zur Änderung der Stoffeigenschaften betreffen vorwiegend die Werkstofftechnik und werden deshalb hier nur am Rande erwähnt.

#### Ziel dieses Buches „Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure“:

- Vermittlung von Kenntnissen der wichtigsten Verfahren zur Metallbearbeitung der Hauptgruppen Urformen, Umformen, Trennen, Fügen und Beschichten.
- Vermittlung von Kenntnissen der wichtigsten Verfahrensparameter.
- Vermittlung von Kenntnissen der wichtigsten Gestaltungsalternativen für Werkzeugmaschinen.
- Anwendung ingenieurmäßiger Arbeit für fertigungstechnische Problemstellungen in ausgewählten Fällen.

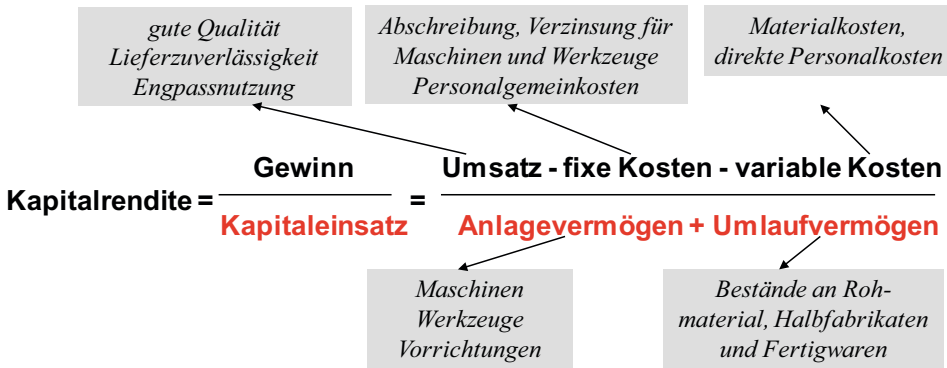
Im Vordergrund steht der breite Überblick, weniger die Vermittlung speziellen Wissens über bestimmte Fertigungsverfahren.

Die für das Produktionsmanagement wichtigen Aspekte Logistik und Personalmanagement werden nur betrachtet, soweit sie fertigungstechnisch beeinflussbar sind.

## ■ 1.3 Auswahl von Fertigungsverfahren

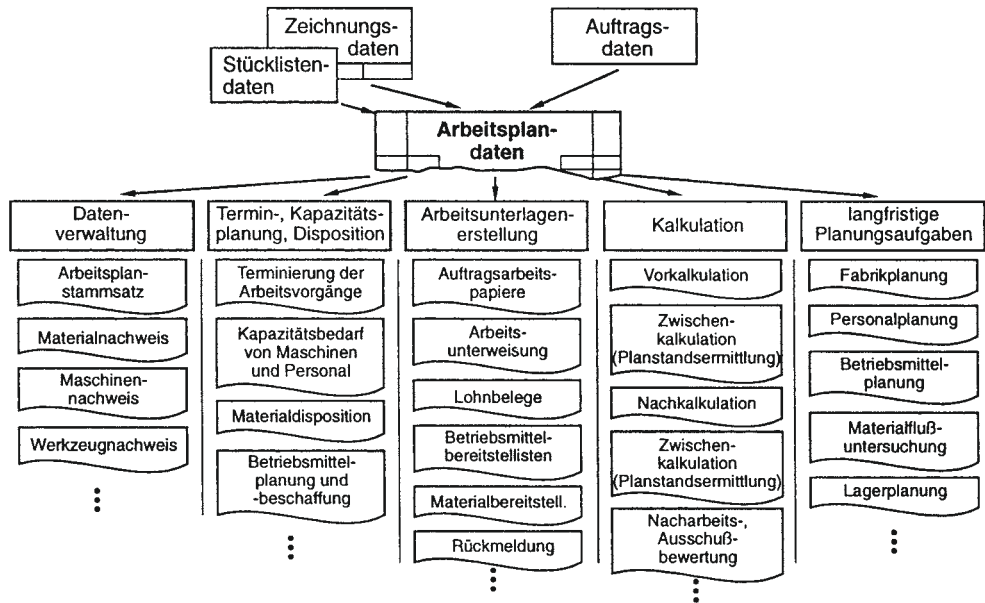
#### Ziele bei der Auswahl von Fertigungsverfahren sind:

1. **Priorität Qualität:** Die von der Konstruktion geforderten Maße und Eigenschaften des Werkstücks müssen mit statistischer Sicherheit erreicht werden.
2. **Priorität Wirtschaftlichkeit durch hohe Kapitalrendite:** Unter den möglichen Fertigungsverfahren ist das Verfahren oder die Verfahrensfolge auszuwählen, das die Kapitalrendite maximiert (Bild 1.10).



**Bild 1.10** Die Kapitalrendite eines Unternehmens wird durch die Fertigung wesentlich beeinflusst.

Die Auswahl der Fertigungsverfahren geht in die **Arbeitsplanung** ein. Der Arbeitsplan ist eine zentrale Informationsbasis für die Produktion (Bild 1.11).



© IFA D3991

**Bild 1.11** Verwendung der Arbeitsplandaten (Wiendahl)

**Schritte zur Arbeitsplanung** sind:

- Auswahl des Rohmaterials,
- Festlegen der Bearbeitungsschritte,
- Festlegen der Maschinen,
- Bestimmen der Verfahrensparameter und Einstellwerte der Maschinen,
- Ermitteln und Festlegen der Vorgabezeit.

Dazu werden folgende **Eingangsinformationen** verwendet:

- Konstruktionsunterlagen: Zeichnung, Stückliste,
- personelle und technische Kapazität, verfügbare Maschinen,
- Planstückzahl und geforderter Fertigstellungstermin.

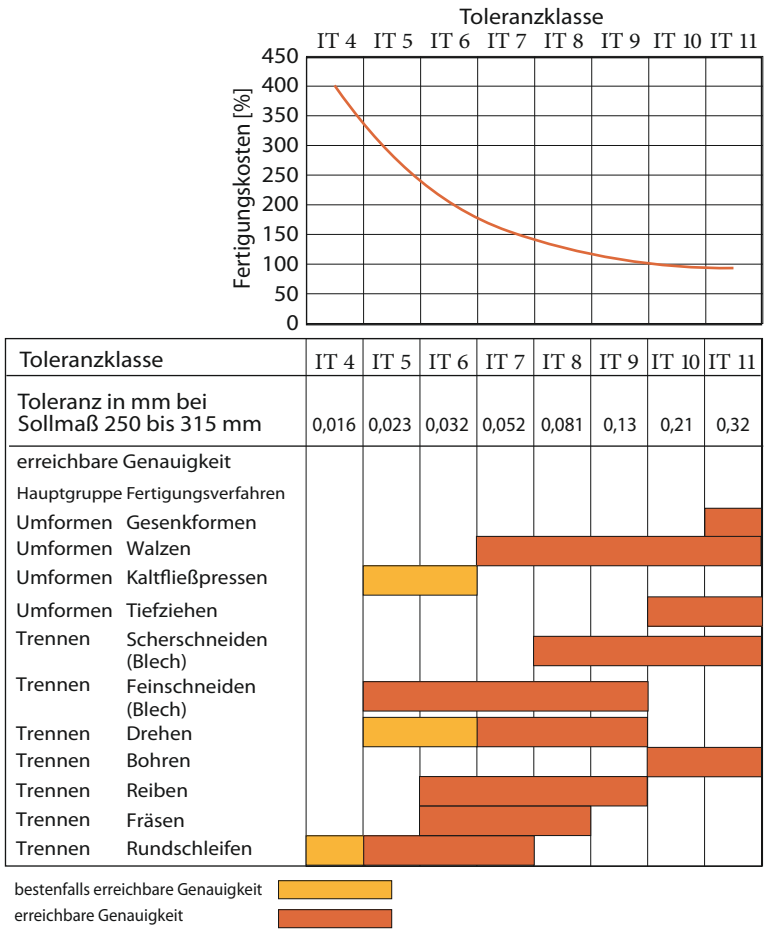
## ■ 1.4 Wesentliche Eigenschaften der Fertigungsverfahren

Wesentliche Eigenschaften von Fertigungsverfahren sind

- die erreichbare Qualität, Genauigkeit und Oberflächengüte,
- Wirtschaftlichkeit und die Bedeutung von fixen und variablen Kosten,
- die Verbreitung der Fertigungsverfahren, mit der Frage von Zukauf oder Eigenfertigung (Make or Buy).

### Qualität:

- Große Toleranzen (ca. 1/10 mm) (Bild 1.12) und raue Oberflächen erzeugen in der Regel die Verfahren
  - Gießen (Urformen),
  - Schmieden und Fließpressen (Umformen),wegen
  - Wärmedehnung des Werkstücks,
  - Verschleißes des Formwerkzeugs.
- Kleine Toleranzen (bis ca. 1/100 mm) (Bild 1.12) und glatte Oberflächen werden erreicht durch
  - Sintern (Urformen)
  - Kaltumformung (Umformen),
  - spanende Verfahren (Trennen).
- Sehr enge Toleranzen (kleiner als 1/100 mm) und sehr glatte Oberflächen (spiegelnd) durch spezielle spanende Verfahren zur Feinstbearbeitung (Trennen).

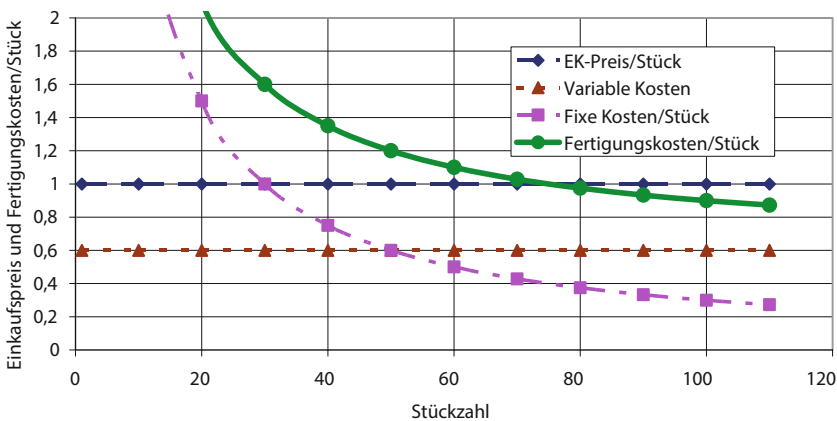
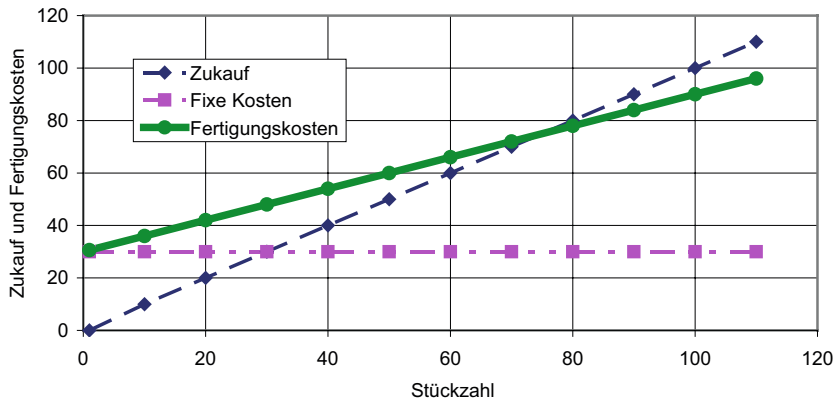


**Bild 1.12** Die erforderliche Genauigkeit bestimmt die Auswahl geeigneter Fertigungsverfahren und die Herstellkosten

**Wirtschaftlichkeit:**

- Je größer die Stückzahl, desto
  - geringer die Herstellkosten pro Stück (economy of scale, Stückkostendegression) (Bild 1.13)
  - größer dürfen die Fixkosten sein (die auf die größere Stückzahl verteilt werden) für
    - teure Maschinen,
    - produktive Maschinen,
    - Werkzeuge, z. B. Formwerkzeuge
    - Vorrichtungen.

Die Stückkostendegression gilt auch für die kumulierte Stückzahl: Durch Produktivitätssteigerung und kontinuierliche Prozessverbesserung sinken die Stückkosten mit zunehmender Erfahrung. Prozessinnovationen z.B. neue Herstellungsverfahren können die Stückkosten während der Laufzeit eines Produktes weiter senken.



**Bild 1.13** Gesamtkosten und Stückkosten in einem fiktiven Beispiel: Die Stückkosten sinken mit zunehmender Stückzahl bis zur Kapazitätsgrenze (Koether, 2014)

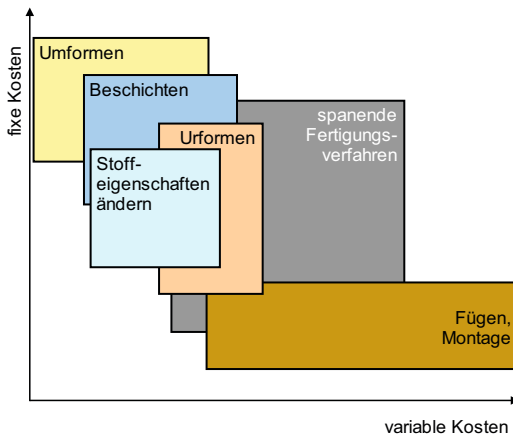
- Für die Herstellung großer Stückzahlen geeignet sind Verfahren mit
  - geringen variablen Kosten (Material und Personal),
  - trotz hoher Fixkosten (Maschinen und Werkzeuge),
- insbesondere sind hier zu nennen
  - Urformen und
  - Umformen (hohe Kräfte erfordern teure Maschinen), z. B.
    - Normteile (Schrauben),
    - Halbzeuge (Bleche),
    - Konsumgüter (Autos).
- Spanende Verfahren (Hauptgruppe Trennen) werden eingesetzt für die
  - Produktion kleiner Stückzahlen,
  - Erzeugung von Funktionsflächen mit engen Toleranzen und glatten Oberflächen an Werkstücken großer und kleiner Stückzahlen.



- Energiekosten im verarbeitenden Gewerbe (vgl. Kap. 11)
  - sind relativ gering (ca. 1 % des Bruttoproduktionswertes für Maschinen- und Fahrzeugbau) im Vergleich zur Metallerzeugung und -bearbeitung (ca. 6 %) (Daten: [Statistisches Bundesamt 2015a]),
  - werden zum großen Teil für Antriebe ausgegeben, auch zum Antrieb von Werkzeugmaschinen,
  - effiziente Elektromotoren amortisieren die höheren Anschaffungsinvestitionen in wenigen Jahren durch geringere Stromkosten.

### Verbreitung von Fertigungsverfahren, Make or Buy:

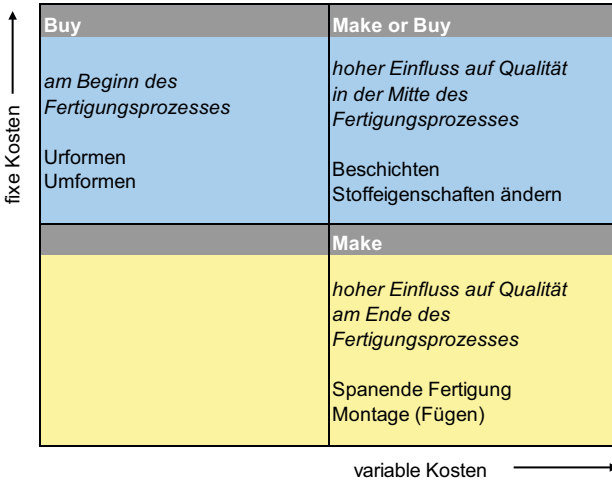
- Die Montage bleibt fast immer im eigenen Betrieb:
  - Mit der Montage (Fügen) wird das Endprodukt für den Kunden erzeugt.
  - Der Kapitalbedarf für Montage ist relativ gering (Bild 1.14).
- Spanende Verfahren werden in den meisten Fertigungsbetrieben in der Teilefertigung eingesetzt (Bild 1.15), denn sie
  - bestimmen die Genauigkeit und damit häufig die Funktion des Werkstücks,
  - erfordern vergleichsweise geringe Investitionen,
  - bieten hohe Flexibilität (geringe fixe, aber hohe variable Kosten) (Bild 1.14).
- Beschichten und Stoffeigenschaften ändern sind zwar Verfahren mit hohen Anlagenkosten, bleiben aber trotzdem häufig in der Eigenfertigung (Bild 1.15), denn sie
  - bestimmen die Qualität und das äußere Erscheinungsbild des Produktes,
  - gestalten bei Fremdvergabe den Fertigungsfluss und den Durchlauf komplizierter.



**Bild 1.14** Fixe und variable Kosten der Fertigungsverfahren

- Ur- und umgeformte Teile werden häufig zugekauft (Bild 1.15):
  - hohe Fixkosten verursachen hohes Auslastungsrisiko (Bild 1.14), die Materialkosten für zugekaufte Teile sind jedoch variable Kosten ohne Auslastungsrisiko
  - spezielles Prozess-Know-how verursacht zusätzliche Fixkosten,
  - schnelle Produktionsgeschwindigkeit umformender Verfahren erfordert große Stückzahlen, um die Maschinen und Anlagen wirtschaftlich auszulasten.

Zulieferbetriebe, die ur- und umgeformte Teile liefern können das Auslastungsrisiko tragen, weil sie für mehrere Kunden produzieren, sodass sich deren Nachfrageschwankungen gegenseitig ausgleichen können.



**Bild 1.15** Portfolio-Darstellung von Eigenfertigung und Zukauf von Werkstücken und Fertigungsverfahren

# 2

## Urformende Fertigungsverfahren

„**Urformen** ist das Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff, durch Schaffen des Zusammenhalts. Hierbei treten die Stoffeigenschaften des Werkstücks bestimmbar in Erscheinung“ (DIN 8560 Begriffe der Fertigungsverfahren). Der formlose Stoff industrieller Urformung ist normalerweise eine Flüssigkeit (**Schmelze**) oder ein **Pulver**; Kunststoffteile werden aus **Granulat** hergestellt.

In den archäologischen Museen der Welt finden sich die Beweise, dass urformende Verfahren zu den ältesten Fertigungsverfahren zählen. Das Material für die Herstellung von Keramiken ist Ton, ein Pulver, das befeuchtet, geformt und gebrannt wird. Tonziegel waren wahrscheinlich die ersten Serienprodukte der Menschheit.



**Bild 2.1** Historische Gussstücke. Links: Ackergerät mit zugehöriger Steinkokille aus der Bronzezeit (ca. 16. Jh. v. Chr.), rechts: Bronzetür am Capitol in Washington D.C./USA (Ausschnitt) (*Kerschek*)

Bereits um 2500 v. Chr. war in Mesopotamien der Hohl-guss von Metallteilen bekannt. Schmuckstücke wurden auch vor der Zeitenwende in wieder verwendbare Formen (Kokillen) gegossen. In der griechischen Antike und auch in den Indianerkulturen Mexikos wurde das Wachs-ausschmelzgießen beherrscht. In der frühen Industrialisierung existierte

für schwierige, große Gussstücke schon ein globaler Markt. Die Bronzetüren des Capitols in Washington/DC (Bild 2.1 rechts) wurden z. B. in München gegossen.

Die folgende Darstellung konzentriert sich auf die industrielle Urformung von metallischen Werkstücken.

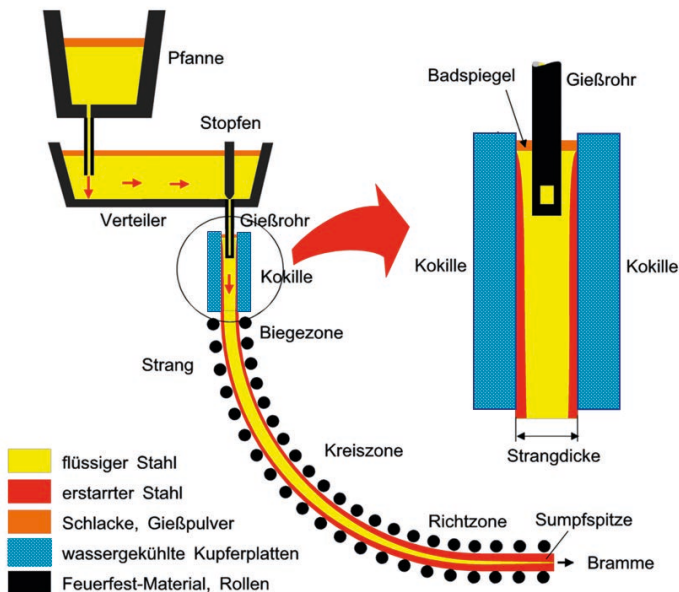
## ■ 2.1 Gießen

Die meisten urgeformten Bauteile werden aus einer Schmelze gegossen. Dabei gibt es zwei wesentliche Prozessvarianten:

- Stranggießen im Anschluss an die Stahlherstellung oder Verhüttung von Metallen,
- Formgießen von Werkstücken im
  - Sandguss (verlorene Form) oder im
  - Kokillenguss (wieder verwendbare Form).

### 2.1.1 Stranggießen

Mit Strangguss werden nach der Metallverhüttung mit dem Festlegen der metallurgischen Werkstoffeigenschaften erstmals **Halbzeuge** zur Weiterverarbeitung hergestellt. Die Schmelze fließt kontinuierlich durch eine rechteckige, gekühlte Form, die Stranggusskokille. Während des Durchlaufs durch die Kokille erstarrt zumindest die Randzone des Strangs, sodass endloses Stangenmaterial entsteht. Der abgezogene Strang wird weiter abgekühlt und abgelängt (Bild 2.2).



**Bild 2.2** Stranggussanlage und Anfahrblock (Mirkophoenix mit Modifikationen)

Die abgelängten Stränge (Stahlbrammen) werden anschließend auf eine gleichmäßige Walztemperatur erwärmt und im Walzwerk zu verkaufsfähigem Stangenmaterial oder Blechen gewalzt. Damit die folgende Umformung und damit die Werkzeug- und Maschinenkosten nicht zu hoch werden, wird der Querschnitt der Stranggussprofile bereits an den Querschnitt der Walzprofile oder Bleche angenähert.



**Bild 2.3** Strangussanlage (Thyssenkrupp)

### 2.1.2 Gießen in verlorene Formen

Verlorene Formen werden in der Regel aus Sand ( $\text{SiO}_2$ ) hergestellt. Der Sand wird mit einem Kleber vermischt, damit der geformte Sand eine gewisse Stabilität erhält und den Kräften bei der Formfüllung (Einfließen der Schmelze) standhalten kann. Der Kleber härtet entweder durch Temperatur (Hot Box) oder durch chemische Reaktion (Cold Box).

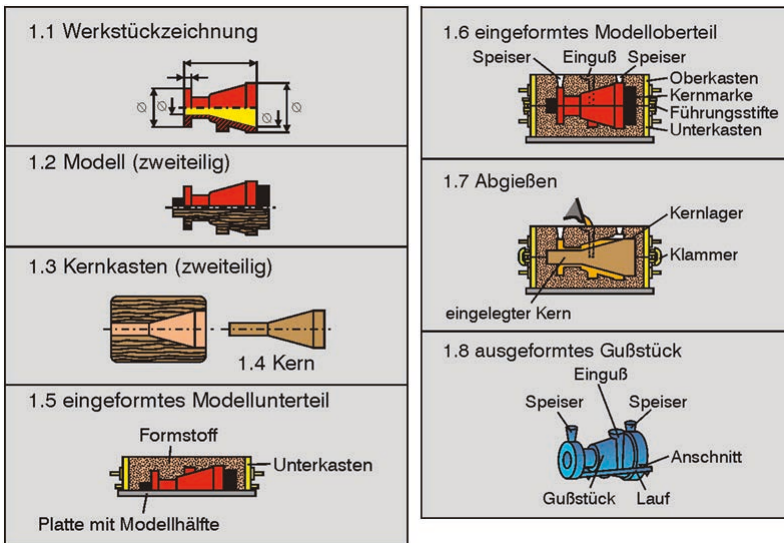
Verlorene Formen werden in vier Situationen eingesetzt:

- bei komplizierten Formen mit Hinterschneidungen,
- für Kerne, die dann Hohlräume im Gusstück bilden,
- bei hohen Schmelztemperaturen des Werkstoffs (Formsand ist temperaturunempfindlich), insbesondere für Stahlwerkstoffe (Schmelztemperatur Fe:  $1536\text{ °C}$ ),
- bei geringen Stückzahlen, für die die Herstellung von Kokillen (Dauerformen) nicht wirtschaftlich ist.

In der **Gussputzerei** werden verlorene Formen nach der Erstarrung der Schmelze vom Gussteil gelöst und dabei zerstört. Der Formsand wird dazu abgeschlagen, das Gussteil gerüttelt und mit Hochdruck-Wasserstrahlen gereinigt. Der Formsand wird gesammelt, gereinigt, wieder aufbereitet und dann wieder verwendet.

## Formverfahren

Alle Verfahren zur Herstellung verloreenerer Formen erfordern ein **Modell** (positive Form) des späteren Gussstücks (Bild 2.4). Für die Serienfertigung wird das mehrfach verwendbare Modell aus Holz oder Kunststoff spanend hergestellt. Beim Lost-foam-Verfahren (Bild 2.10) wird das Modell aus Polystyrolschaum gefertigt; es wird beim Gießen ebenso zerstört wie das Wachsmodell für das Wachs ausschmelzgießen.



**Bild 2.4** Herstellung eines Gussteiles mit verlorener Form und zweiteiligem Dauermodell (Witt)

Soll das Gussstück innen hohl bleiben, werden **Sandkerne** eingelegt, die diesen Hohlraum bilden (Bild 2.5). Die Sandkerne werden entweder auch nach einem Modell geformt oder aus Dauerformen (Kernbüchsen) erstellt.

Zum **Handformen** wird zunächst nach der Konstruktion des Gussstücks ein Modell hergestellt. Am Modell sind neben dem Werkstück auch Einguss, Speiser, Lauf und Anschnitt angeformt, über die die Schmelze in der Form gleichmäßig verteilt wird. Das Modell wird in den unteren Formkasten eingelegt, dann wird der Raum zwischen Formkasten und Modell mit Formsand gefüllt. Anschließend entnimmt man das Modell, sodass der gewünschte Hohlraum in Sand geformt zurückbleibt (negative Form). Die obere Formhälfte wird im oberen Formkasten genauso abgeformt. In den unteren Formkasten werden ein oder mehrere Sandkerne eingelegt, dann werden der obere Formkasten aufgesetzt und beide Formhälften mit einer Klammer verbunden. Der entstandene Hohlraum kann nun durch die Metallschmelze ausgefüllt werden (Bild 2.4).