



Bibliothek des technischen Wissens

Handbuch der Metallbearbeitung

4., überarbeitete Auflage

Herausgeber
Paul Scheipers

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 50910

Autoren des Buches:

Dr.-Ing. Karsten Althaus	Chemnitz
Prof. Dipl.-Ing. Klaus Bieder	Dorsten
Dipl.-Ing. Uwe Dammer	Osnabrück
Dipl.-Ing.-Päd. Dr. Gerald Frömmer	Chemnitz
Prof. Dr.-Ing. habil Manfred Hänert	Rostock
Prof. Dr.-Ing. habil Klaus Herfurth	Langenfeld (Rheinland)
Dr.-Ing. Andreas Hirsch	Burgstädt
Studiendirektor Hans-Jürgen Hölscher	Lengerich
Dr.-Ing. Erhard Jänsch	Glauchau
Oberstudienrat Dipl.-Ing. Bernhard Kreft	Steinfurt
Studiendirektor i. R. Hubert Meisterhans	Schopfheim
PD Dr.-Ing. Frank Riedel	Thum
Studiendirektor i. R. Paul Scheipers	Coesfeld
Oberstudienrat Dipl.-Ing. Heinz Semper	Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Steinhäuser	Chemnitz
Dipl.-Ing. Armin Steinmüller	Hamburg
Dr.-Ing. Klaus Weigelt	Chemnitz

Herausgeber:

Paul Scheipers, Coesfeld

Verlagslektorat:

Dr. Astrid Grote-Wolff

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Leinfelden-Echterdingen

Umschlaggestaltung:

M. Wosczyzna, Bonn/M. M. Kappenstein, Frankfurt/Main nach einem Entwurf von Armin Steinmüller

Dieses Buch wurde auf der Grundlage der **neuen amtlichen Rechtschreibregeln** erstellt.

4. Auflage 2007

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern un-
tereinander unverändert sind.

Diesem Buch wurden die neuesten Ausgaben der DIN-Normen zugrunde gelegt. Verbindlich sind jedoch
nur die DIN-Blätter selbst.

ISBN 978-3-8085-5094-6

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich
geregeltten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2007 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten.

<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Tutte Druckerei GmbH, Salzweg/Passau

Druck: Media-Print Informationstechnologie, 33100 Paderborn

Vorwort

Mit diesem „Handbuch der Metallbearbeitung“ steht den Lernenden, Studierenden, Lehrenden und Praktikern ein modernes Nachschlagewerk der Metalltechnik zur Verfügung.

Die normgerechte Darstellung der Fertigungstechnik, ihrer wesentlichen Verfahren, der dazugehörigen Werkzeuge, Maschinen und Anlagen bildet den Hauptteil dieses Buches. Ergänzt werden diese Sachgebiete durch Inhalte, deren Kenntnis zum Verständnis der Fertigungsverfahren und -einrichtungen notwendig oder hilfreich ist, zum Beispiel Elektrische Antriebe, Qualitätsmanagement, Längenprüf-, Steuerungs- und Werkstofftechnik.

Für alle Fertigungsverfahren existiert eine einheitliche Systematik, die bis in feine Verästelungen hinein in diesem Handbuch der Metallbearbeitung erkennbar wird. Die dafür gültigen Normen enthalten eine logisch aufgebaute Terminologie und ergeben eine verbindliche, widerspruchsfreie Fachsprache. Die Autoren haben versucht, die manchmal etwas juristisch klingenden Formulierungen der Normen zu vereinfachen und durch Bezüge zur Praxis und zur Wissenschaft zu ergänzen.

Das Handbuch tritt durch seinen systematischen Aufbau neben alphabetisch gestaltete Lexika und didaktisch strukturierte Lehrbücher. Ein ausführliches Stichwörterverzeichnis und die Gliederung der Artikel in einzelne, jeweils an typischen Begriffen orientierte Sequenzen sorgen dafür, dass Begriffe schnell nachgeschlagen werden können. Der Vorteil dieser Methodik ist, dass jeder Begriff innerhalb eines größeren sachlichen Zusammenhangs verstanden werden kann.

Sommer 2007

Zu Beginn eines Artikels und größerer Unterteilungen ermöglicht eine thematische Übersicht anschaulich die Orientierung über die inhaltliche Struktur der folgenden Bereiche. Für diejenigen, die ein weitergehendes Informationsbedürfnis haben, finden sich am Schluss jedes Sachgebietes Hinweise auf wichtige DIN-Normen, Richtlinien, Fachbücher, Zeitschriften und Firmenschriften.

Als Leser unseres Buches stellen wir uns unter anderem Studierende, Techniker, Ingenieure, Berufsschullehrer, technische Übersetzer und nicht zuletzt auch die vielen Angehörigen technischer Berufe vor, die sich fachlich weiterbilden möchten. Dieses Nachschlagewerk soll für sie eine Ergänzung zu vorzugsweise didaktisch bestimmten Lehrbüchern, aber auch eine Hilfe beim Studium von Fachzeitschriften und Dokumentationen sein.

Für kritische Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge sind wir dankbar.

Über zahlreiche Anregungen und Hilfen aus den Bereichen der Wissenschaft, Verbände und Industrie haben wir uns gefreut. Wir bedanken uns dafür und weisen an dieser Stelle auf eine namentliche Nennung im Anhang hin (587f).

Um die modernen Entwicklungen in der Metalltechnik zu berücksichtigen, wurde das Handbuch für die **2. Auflage** gründlich überarbeitet und ergänzt sowie durch die Hinzunahme der Farbe Blau attraktiver gestaltet.

Mehrere neue Autoren ergänzen das bisherige Autorenteam.

In der **3. Auflage** wurden einige Korrekturen sowie redaktionelle Verbesserungen und Aktualisierungen vorgenommen.

Das Handbuch wurde für die **4. Auflage** insgesamt aktualisiert und im 12. Kapitel (Werkstoffe) gründlich überarbeitet.

Autoren, Herausgeber und Verlag

Benutzerhinweise

Das Handbuch der Metallbearbeitung ist so konzipiert, dass der Leser die gewünschten Informationen möglichst schnell und einfach finden kann.

Ein ausführlich gestaltetes **Stichwörterverzeichnis** führt jeden Begriff mit den Zahlen aller Seiten auf, wo wesentliche Aussagen dazu gemacht werden. Der Begriff erscheint dort in Fettdruck.

Weitere Möglichkeiten ergeben sich aus den Inhaltsübersichten und Seitenhinweisen.

Eine Gesamtinhaltsübersicht, in der die 12 Kapitel des Buches und ihre wichtigsten Unterteilungen vorgestellt werden, steht zu Beginn des Buches (Seite 5).

Aus dieser Übersicht ist zu entnehmen, dass z. B. das Kapitel 5 „Fügen“ in Zusammensetzen; Anpressen; Fügen durch Urformen, Umformen, Schweißen, Löten und Kleben unterteilt wird.

Detaillierter ist dann die Inhaltsübersicht zu Beginn des Kapitels „Fügen“ (Seite 249).

Noch differenzierter sind die Inhaltsübersichten der Unterabschnitte, z. B. Fügen durch Schweißen (252).

Beispiel (Kurzausschnitt):

Fügen durch Schweißen (Seite 252)

Schweißen – Schweißprozess

Energieträger zum Schweißprozess

Fachbegriffe der Schweißtechnik

Bedeutung der Schweißtechnik

Einteilung der Schweißverfahren

Metallschweißverfahren

Schmelzschweißen

Schweißen durch Flüssigkeit

Gießschmelzschweißen

Schweißen durch Gas

Gasschweißen, Gas-Pulver-Schweißen

Schweißen durch Strahl

Elektronenstrahl-, Laser-, Lichtstrahlschweißen
usw.

Die erwähnten Inhaltsübersichten enthalten bereits zahlreiche wichtige Stichwörter und stellen ihren sinnvollen Zusammenhang dar.

Begriffe, die im **Fettdruck** erscheinen, werden an der betreffenden Stelle definiert oder es wird Wesentliches über den Sachverhalt ausgesagt. Ein Begriff, der in **Kursivschrift** gedruckt ist, wird ohne Seitenverweis auf derselben oder einer unmittelbar benachbarten Seite beschrieben. Erfolgt die Erläuterung an anderen Stellen des Buches, so steht hinter dem Begriff der Seitenverweis. Damit wird dem Leser ein aufwendiges Suchen im Stichwörterverzeichnis erspart.

Die Literaturangaben am Ende eines Kapitels oder Abschnittes sollen in erster Linie Hinweise auf ausgewählte Literatur geben, die wichtige und interessante Vertiefungen oder Ergänzungen enthält.

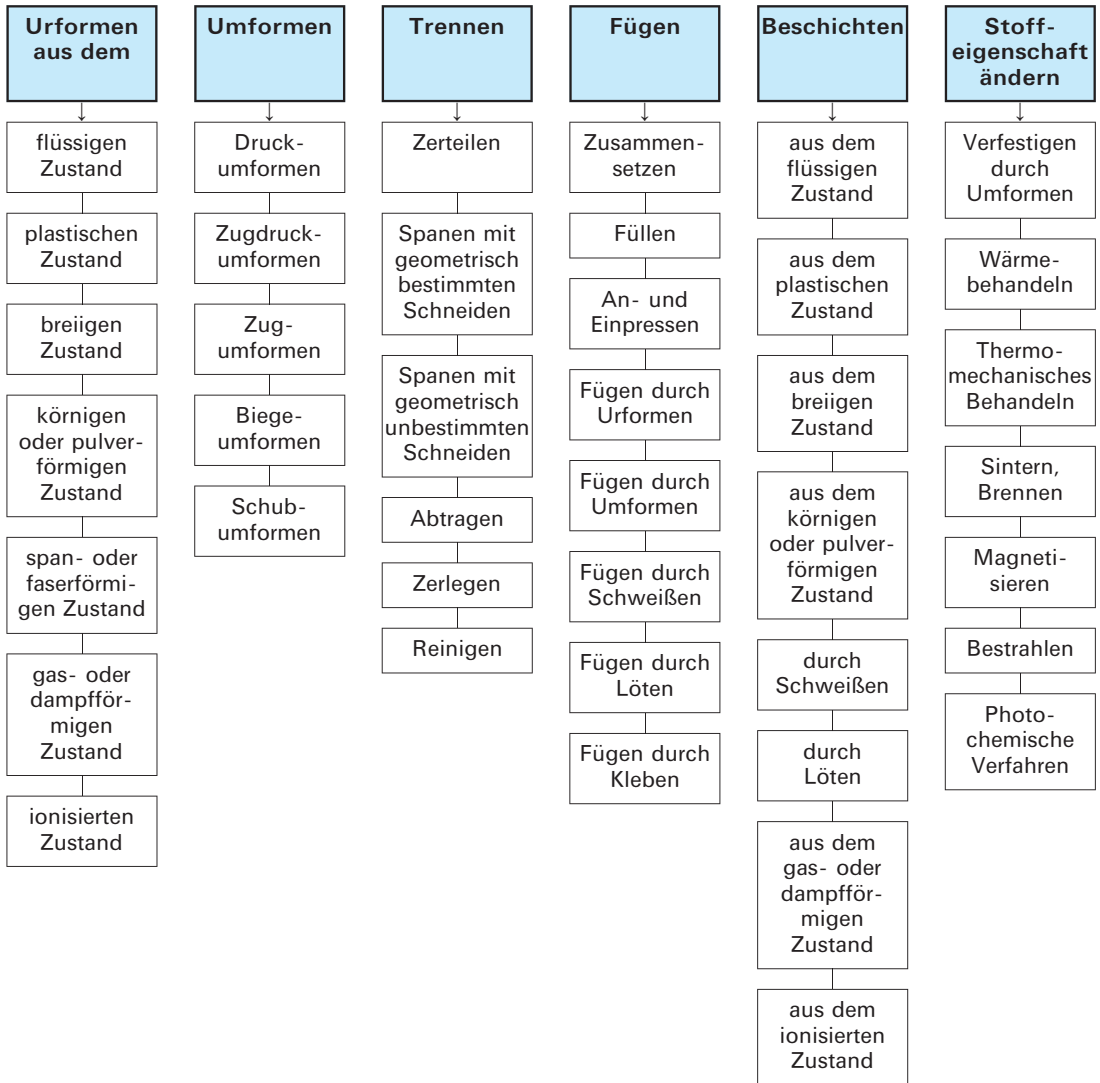
Autoren und Herausgeber

Inhaltsübersicht

1 Grundlagen und Ordnungskriterien der Fertigungstechnik	7	8 Qualitätsmanagement und Längenprüftechnik	359
		Qualitätsmanagement	359
		Längenprüftechnik	379
2 Urformen	17	9 Elektrische Antriebe	407
Allgemeines	17	Grundlagen	407
Urformen aus dem flüssigen Zustand	20	Gleichstrommaschinen	408
Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	46	Drehfeldmaschinen	413
Urformen aus dem ionisierten Zustand	59	Elektronisch kommutierte Maschinen	418
		Schrittmotoren	418
		Linearmotoren	418
		Hauptspindelantriebe	420
		Servoantriebe	422
3 Umformen	61	10 Steuerungstechnik I	427
Allgemeines	61	Grundlagen	427
Umformverfahren	63	Geräte für das zu steuernde System, den Leistungsteil	448
Umformmaschinen	95	Geräte für das zu steuernde System, den Steuerteil	461
Umformwerkzeuge	111	Beispiel für eine Gesamtsteuerung	474
4 Trennen	129	11 Steuerungstechnik II	483
Zerteilen	129	Grundlagen	484
Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	139	Programmierung von CNC-Werkzeugmaschinen	500
Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	223	12 Werkstoffe	527
5 Fügen	249	Allgemeines	527
Fügen durch Zusammensetzen, Füllen, Anpressen, Urformen, Umformen	249	Einteilung der Werkstoffe	527
Fügen durch Schweißen	252	Aufbau und Eigenschaften der Werkstoffe	530
Fügen durch Löten	279	Metalle und Legierungen	530
Fügen durch Kleben	292	Hartmetalle und Hartlegierungen	578
		Keramik	579
		Superharte Schneidstoffe	579
		Diamant	579
		Werkstoffeinsatz	580
6 Beschichten	301	13 Bildquellenverzeichnis	587
Grundlagen	301	14 Firmenverzeichnis	588
Beschichtungsverfahren	308	15 Stichwörterverzeichnis	591
Prüfung von Beschichtungen	343		
7 Stoffeigenschaft ändern	345		
Verfestigen durch Umformen	345		
Wärmebehandeln	345		
Thermochemisches Behandeln	354		
Thermomechanisches Behandeln	357		
Weitere Verfahren	358		

Fertigungsverfahren (DIN 8580)

Hauptgruppen und Gruppen



1 GRUNDLAGEN UND ORDNUNGSKRITERIEN DER FERTIGUNGSTECHNIK

Die **Fertigungstechnik** umfasst als Teilgebiet der industriellen Produktionstechnik die Herstellung geometrisch bestimmter fester Körper aus Werkstoffen, die zu Beginn des gesamten *Fertigungsprozesses* in formlosem Zustand vorhanden sind.

In der Sprache der Politiker und Journalisten hat sich dafür der Begriff **Technologie** durchgesetzt, der ursprünglich (erstmalig von Johann Beckmann 1769) für die Wissenschaft von der Technik benutzt wurde. Der Begriff **Neue Technologien** für modernste Fertigungsverfahren und -einrichtungen sowie für den Einsatz der Informationsverarbeitung in der Fertigung und Organisation ist darüber hinaus zum Schlagwort der Umgangssprache geworden.

Auch diejenige Fachrichtung der **technischen Wissenschaften**, die sich mit Forschung, Fertigung und Lehre beschäftigt, wird als Fertigungstechnik bezeichnet. Sie wird in Anlehnung an das Englische oft Technologie genannt.

Der **Zweck der Fertigung** ist die Herstellung technischer Produkte: das können Halbzeuge, Bauteile, Maschinen, Apparate oder Anlagen sein, zusammengefasst unter dem Begriff **geometrisch bestimmter fester Körper**. In der Praxis wird von **Werkstück**, **Bauteil** oder **Baugruppe** gesprochen, wenn ein einzelnes oder zusammengesetztes Teil gemeint ist.

Grundlagen der Fertigung sind die in den Konstruktionsunterlagen, entweder auf einer Zeichnung oder einem anderen Informationsträger, vorgegebenen Fertigungsanweisungen. Sie beziehen sich auf die Werkstoffe, die Abmessungen, die Maßtoleranzen und die Oberflächengüte und bestimmte vom Kunden geforderte Qualitätsmerkmale sowie die während der Fertigung einzusetzenden *Prüfmittel* (S. 380ff). Durch diese Anforderungen an das Produkt sind die *Fertigungsverfahren* vorgegeben, auf deren Auswahl außerdem die Notwendigkeit einer wirtschaftlichen Herstellung der Werkstücke wesentlichen Einfluss hat. Falls die Herstellung eines Fertigteils mittels verschiedener Fertigungsverfahren möglich ist, ist die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens das entscheidende Kriterium bei der Auswahl.

Aus den Fertigungsverfahren entwickelt sich die gesamte Fertigungstechnik mit den dazugehörigen Werkzeugen und Anlagen. Hauptkriterium der genormten *Einteilung der Fertigungsverfahren* (folgende Seiten) ist die Art und Weise, wie der geometrisch bestimmte feste Körper aus dem vorher formlosen Werkstoff hergestellt wird und wie die Lage der Stoffteilchen sich während des *Fertigungsprozesses* ändert.

Fertigungseinrichtungen sind alle Maschinen (z. B. *Werkzeugmaschinen* 10ff), Anlagen (z. B. Fördermittel), Geräte, Apparate und Systeme, die für

die unmittelbare Durchführung des *Fertigungsprozesses* benötigt werden.

Fertigungsmittel sind alle *Werkzeuge*, Vorrichtungen und Prüfmittel, die während der Fertigung auf die Werkstücke einwirken oder die zur Durchführung der Fertigung gebraucht werden.

Fertigungshilfsstoffe werden zur Durchführung des *Fertigungsprozesses* benötigt, gehen aber nicht in das Endprodukt ein. Teilweise werden sie verbraucht, manchmal auch wiedergewonnen. Dazu gehören z. B. Kühlmittel, Schmierstoffe, Hilfsstoffe beim Härten, Reinigungsmittel, zeitweilige Schutzüberzüge u. a. m.

Der **Fertigungsprozess** ist die Einwirkung der Fertigungstechnik auf den einzelnen Arbeitsgegenstand. Dazu gehören die spezielle Anwendung der *Fertigungsverfahren* (ab S. 13) sowie die Nutzung der Methoden des *Qualitätsmanagements* (359ff) und aller Transport-, Lagerungs- und Handhabungsvorrichtungen.

Der **Fertigungsablauf** umfasst eine sinnvolle Folge von Arbeitsvorgängen, die einen geometrisch bestimmten festen Körper aus dem **Rohzustand** in den **Fertigzustand** überführen. Währenddessen werden die Gestalt des Körpers und teilweise auch die Stoffeigenschaften geändert. Das unbearbeitete Werkstück heißt hier **Rohteil**, es kann in Zwischenstufen zum **Halbfertigteil** werden. Das Ziel des gesamten Fertigungsprozesses ist das **Fertigteil**.

Während des **Fertigungsablaufes** wirken die *Fertigungsverfahren*, *Fertigungseinrichtungen*, *Fertigungsmittel*, *Fertigungshilfsstoffe* und *Prüfmittel* bei jedem einzelnen Arbeitsvorgang auf eine für das jeweilige Fertigungsverfahren spezifische Art und Weise zusammen.

Für die Beurteilung des Fertigungsablaufes unter technologischem Aspekt ist es dabei nicht von Bedeutung, ob die Anwendung der einzelnen Verfahren auf einer einzigen Anlage geschieht, ob sie auf verschiedene Anlagen verteilt wird oder in geografisch auseinander liegenden Produktionsstätten vor sich geht.

Historisch betrachtet begann die industrielle Fertigung in Europa mit einer großen **Fertigungstiefe**. Das bedeutete, dass die traditionellen Maschinenbauunternehmen alle eine eigene Gießerei hatten und fast alle Bauteile des Endprodukts selbst herstellten.

Die Entwicklung einer Vielzahl spezieller Fertigungsverfahren, die Verbesserung der Transportmöglichkeiten und eine hocheffiziente Logistik sowie die Standardisierung Tausender von Bauteilen ermöglichten eine starke Verringerung der Fertigungstiefe und die Verteilung der Fertigung hochkomplexer Erzeugnisse auf die ganze industrielle Welt.

Fertigungsverfahren

Mit **Fertigung** wird ein Vorgang bezeichnet, bei dem ein bestimmter Körper, meist *Werkstück* genannt, durch das schrittweise Ändern der geometrischen Form und der Stoffeigenschaften oder von beiden aus einem **Rohzustand** in einen **Fertigzustand** überführt wird. Jede Änderung stellt einen **Arbeitsvorgang** dar, alle Arbeitsvorgänge zusammen ergeben im *Fertigungsablauf* einen *Fertigungsprozess*.

Fertigungsverfahren sind alle im Fertigungsablauf angewandten Verfahren, mit deren Hilfe ein geometrisch bestimmter Körper hergestellt oder stofflich geändert wird.

Verfahren, mittels derer der Werkstoff in formlosem Zustand hergestellt wird oder die die vorher vorhandene Form durch vollständiges Zerstören beseitigen, z. B. Schmelzen, Auflösen, Zerkleinern, gehören zur Verfahrenstechnik.

Als **geometrisch bestimmter fester Körper** gilt jedes aus einem Arbeitsvorgang hervorgehende technische Gebilde. Es kann ein Halbfertigteil (Halbzeug), ein fertiges Erzeugnis, ein Werkzeug, eine Maschine oder auch eine größere Anlage sein.

Werkzeuge bewirken durch Kraft und Bewegung gegenüber dem Werkstück die Änderung seiner Form und Lage und/oder auch seiner stofflichen Eigenschaften. Dabei wirken sie entweder unmittelbar über *Wirkmedien* oder direkt durch Übertragung von *Wirkenergien*. Als Werkzeug wird in dieser umfassenden Bedeutung auch ein komplexes Bearbeitungsgerät, z. B. ein Elektroschrauber oder eine Laserstrahl-Schneidanlage, verstanden.

Wirkmedien sind formlose Stoffe, die durch verschiedene Energieformen (mechanische oder elektrische Energie, Wärme u. a.) oder durch chemische Reaktionen stoffliche Veränderungen an der Oberfläche oder im Werkstück hervorrufen.

Wirkenergie ist in den meisten Fällen, wie z. B. bei Werkzeugmaschinen, die mechanische Energie; es kann aber auch eine elektromagnetische oder chemische Energie, Wärme oder Strahlung sein.

Die Kriterien bei der **Einteilung der Fertigungsverfahren** in sechs Hauptgruppen sind bestimmte Änderungen der geometrischen Form des festen Körpers und seiner stofflichen Eigenschaften. Im Folgenden werden diese Hauptgruppen kurz im Zusammenhang dargestellt und gegeneinander abgegrenzt. Die nähere Beschreibung der Verfahren und ihre genaue Unterteilung erfolgt in den jeweiligen Hauptkapiteln dieses Buches:

Sie heißen *Urformen – Umformen – Trennen – Fügen – Beschichten – Stoffeigenschaftändern*.

Unter **formlosem Stoff**, der zu Beginn des Fertigungsprozesses beim Urformen vorhanden ist, werden Gase, Flüssigkeiten, aber auch Späne, Fasern, Granulat und ähnliche in homogener Verteilung vorliegende Stoffe verstanden. Als **Zusammenhalt** wird sowohl die Eigenschaft der Stoffteilchen eines

Körpers als auch der Bestandteile eines durch Fügen zusammengesetzten Körpers bezeichnet, die bewirkt, dass sich der bestehende Zustand ohne äußere Einwirkungen nicht ändert.

Urformen ist das Fertigen eines festen Körpers aus dem formlosen Stoff durch das Schaffen eines Zusammenhalts zwischen den Stoffteilchen. Der Zusammenhalt der Stoffteilchen wird hergestellt:

- aus dem festen (pulverigen) Zustand, z. B. durch Sintern von Metallpulvern, Pressen von Kunstharzen;
- aus dem flüssigen oder teigigen Zustand, z. B. durch Gießen, Spritzen und Schäumen;
- aus dem gasförmigen Zustand, z. B. durch Aufdampfen;
- aus dem ionisierten Zustand, z. B. durch Galvanoplastik.

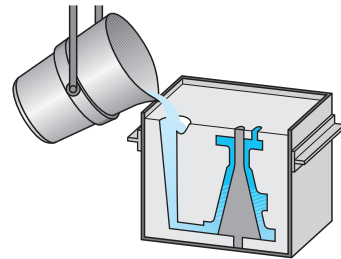


Bild 1: Vollformgießen

Umformen ist das Fertigen eines festen Körpers durch plastisches Ändern seiner Ausgangsform unter Beibehaltung des Ausgangsvolumens. Der Zusammenhalt der Stoffteilchen und die Masse bleiben erhalten. Umgeformt wird:

- durch Zugkraft, z. B. mittels Streckrichten, Weiten, Tiefen;
- durch Druckkraft, z. B. mittels Walzen, Schmieden, Einprägen;
- durch Zug- und Druckkraft, z. B. mittels Tiefziehen, Walzziehen;
- durch Schubkraft, z. B. mittels Verdrehen, Durchsetzen;
- durch Biegekraft, z. B. mittels Biegen, Runden, Wickeln.

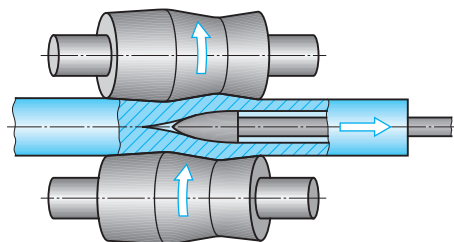


Bild 2: Rohrwalzen

Trennen ist das Fertigen eines festen Körpers durch teilweises Aufheben des Zusammenhalts der Stoffteilchen. Dabei ist die Endform in der Ausgangsform enthalten, das Volumen wird vermindert oder aus einem Rohteil entstehen mehrere Fertigteile. Der Zusammenhalt der Stoffteilchen wird aufgehoben:

- durch Zerteilen, z. B. beim Abschneiden, Reißen, Brechen;
- durch Spanen, z. B. beim Bohren, Stoßen, Sägen, Schleifen;
- durch Abtragen, z. B. durch Brennschneiden, Ätzen, Erodieren;
- durch Zerlegen, z. B. durch Auseinanderschrauben, Aushaken;
- durch Reinigen, z. B. durch Bürsten, Strahlen, Waschen.

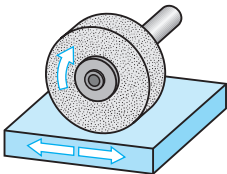


Bild 1: Planschleifen

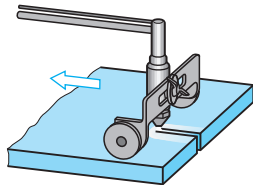


Bild 2: Brennschneiden

Fügen ist das Fertigen eines festen Körpers durch das dauerhafte Verbinden zweier oder mehrerer fester Körper oder von Körpern mit formlosem Stoff. Der Zusammenhalt der Stoffteilchen wird im Ganzen vermehrt oder auch örtlich neu geschaffen:

- durch Zusammenlegen, z. B. mittels Einlegen, Ineinanderschieben;
- durch Füllen, z. B. mittels Einfüllen, Tränken;
- durch An- und Einpressen, z. B. durch Verschrauben, Klemmen, Einrenken, Einhängen;
- durch Urformen, z. B. mittels Ausgießen, Umgießen;
- durch Umformen, z. B. durch Falzen, Vernieten, Verlappen, Durchsetzfügen;
- durch Stoffverbinden, z. B. mittels Schweißen, Löten, Kleben.

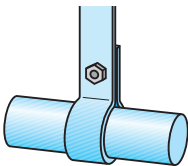


Bild 3: Schrauben mit Klemmen

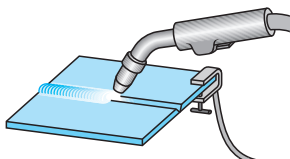


Bild 4: Schutzgas-schweißen

Beschichten ist das Fertigen durch Aufbringen einer fest haftenden dünnen Schicht eines vorher formlosen Stoffes auf die Oberfläche eines Werkstücks, dessen geometrische Form unverändert bleibt. Ein neuer Zusammenhalt der Stoffteilchen wird an der Berührungsoberfläche hergestellt:

- aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand, z. B. durch Aufdampfen, Ionenimplantieren;

- aus dem flüssigen, breiigen und pastenförmigen Zustand, z. B. durch Anstreichen, Spritzlackieren, Auftragschweißen, Emaillieren;
- aus dem ionisierten Zustand, z. B. durch Galvanisieren, Chromatieren, Passivieren;
- aus dem festen (körnigen oder pulverigen) Zustand, z. B. durch Pulverbeschichten, Hammerplattieren, Wirbelsintern.

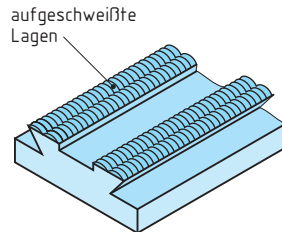


Bild 5: Auftragschweißen

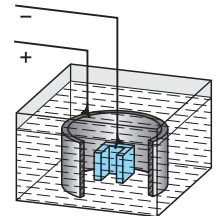


Bild 6: Galvanisieren

Stoffeigenschaftsändern ist das Fertigen durch Änderung der Lage der Stoffteilchen, aus denen das Werkstück besteht. Hauptsächlich werden dadurch Rand-schichten unterhalb der Oberfläche betroffen. Die geometrisch bestimmte Form des Körpers wird davon nicht betroffen. Die Eigenschaften sind änderbar:

- durch Umlagern von Stoffteilchen, z. B. mittels Glühen, Härten, Anlassen, Vergüten, Magnetisieren;
- durch Aussondern von Stoffteilchen, z. B. mittels Entkohlen (Tempern), Dehydrieren;
- durch Einbringen von Stoffteilchen, z. B. mittels Aufkohlen (Zementieren), Nitrieren.

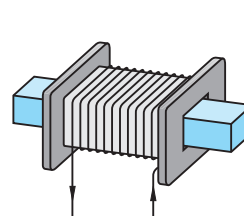


Bild 7: Magnetisieren

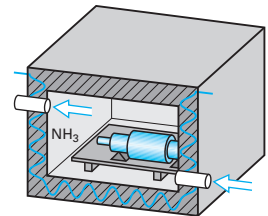


Bild 8: Nitrieren

Fertigungsmaschinen und -einrichtungen

Der Zweck eines **Fertigungsprozesses** besteht darin, einen geometrisch bestimmten festen Körper (meistens **Werkstück** genannt) durch Ändern der Form und manchmal der Stoffeigenschaften von einem Rohzustand in einen Fertigzustand zu überführen. In der Regel geschieht dies in einer Anzahl aufeinander abgestimmter Arbeitsvorgänge, selten in einem einzigen (z. B. Gießen). Die Art und Weise der Änderung wird durch die **Fertigungsverfahren** beschrieben. Die Durchführung der Operationen zur Änderung von Form und Stoffeigenschaften im Einzelnen geschieht durch **Werkzeuge, Wirkmedien** und **Wirkenergien**.

Werkzeug, Wirkmedium und **Wirkenergie** bilden zusammen mit dem Werkstück das **Wirkpaar**. Dabei gilt als Werkzeug mehr als nur beispielsweise ein Drehmeißel oder Bohrer, sondern auch ein einfaches Gerät, wie das Beispiel zum Fertigungsverfahren Gasschmelzschweißen zeigt.

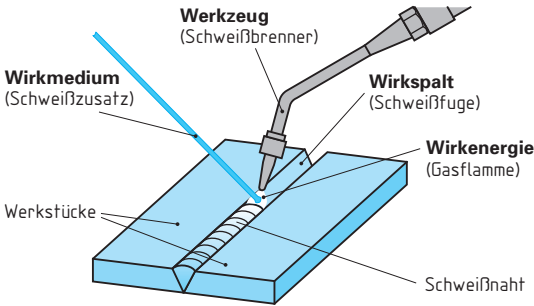


Bild 1: Wirkpaar

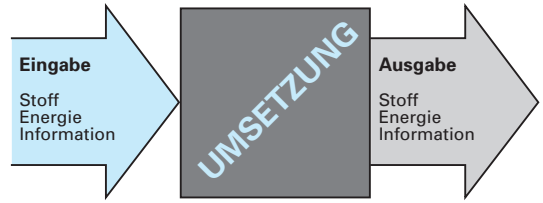


Bild 3: Funktionen eines Technischen Systems

Eine **Fertigungsanlage** setzt sich aus einer oder mehreren Fertigungsmaschinen bzw. -einrichtungen zusammen, die durch die verschiedensten **Hilfsvorrichtungen** (z.B. Transportanlagen) miteinander verknüpft werden. Die zu den Gruppen Umformen und Trennen gehörenden Fertigungsmaschinen werden als **Werkzeugmaschine** bezeichnet. Auch jede einzelne **Fertigungseinrichtung** (z. B. Härteofen) oder eine Werkzeugmaschine bildet wiederum ein Technisches System, das im Verhältnis zum übergeordneten als Teilsystem zu betrachten ist.

Fertigungssystem

Der gesamte **Fertigungsprozess** vollzieht sich in einem **Fertigungssystem**, das durch den für die Herstellung des Produkts notwendigen **Fertigungsablauf** determiniert wird. Dieses Fertigungssystem braucht weder örtlich noch zeitlich zusammenhängend zu sein. Innerhalb dieses Systems wird das Werkstück vom **Anfangszustand** (z. B. Gussstahlblock) durch Zusammenwirken der notwendigen **Fertigungsmittel** (7) über verschiedene Zwischenzustände in den **Fertigzustand** (z. B. Generatorwelle) umgewandelt. Unter allgemeinen theoretischen Gesichtspunkten betrachtet handelt es sich um ein **Technisches System** mit Eingabegrößen, Umsetzungsvorgängen und Ausgabegrößen.

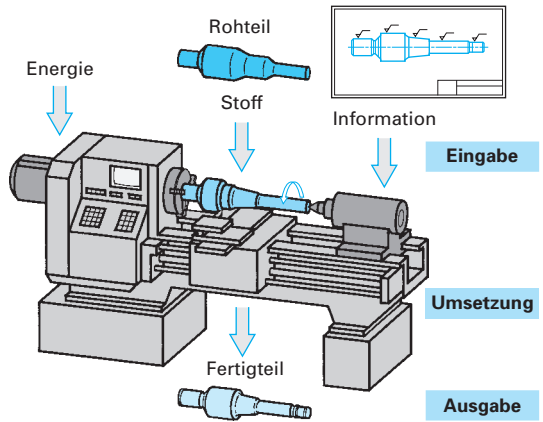


Bild 4: Drehmaschine als Technisches System

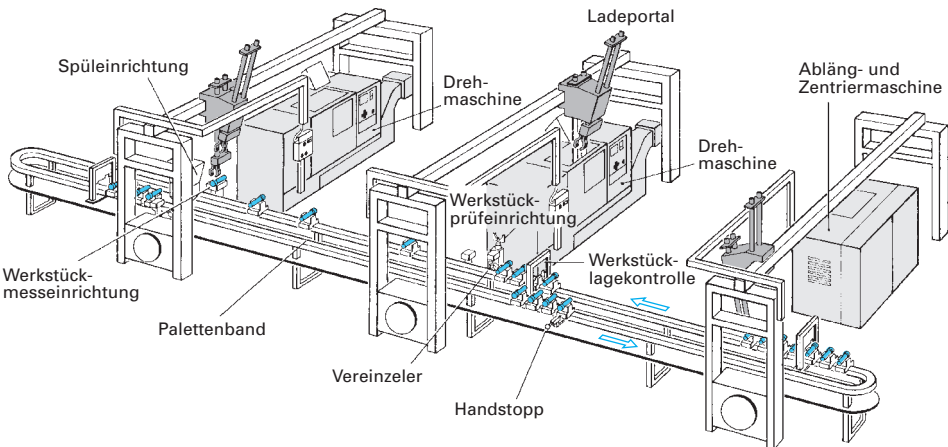


Bild 2: Teil einer Fertigungsanlage

Bau und Funktionseinheiten

Um die Form des Werkstücks oder seine Stoffeigenschaften zu ändern, werden **Untersysteme** als Bau- oder Funktionseinheiten eingesetzt. Bei den Werkzeugmaschinen, die den *Fertigungshauptgruppen Umformen, Trennen* und *Fügen* zugeordnet sind, wirken mechanische Kräfte, auch bei den Einrichtungen der Gruppe *Urformen*. Bei den Fertigungshauptgruppen *Fügen, Beschichten* und *Stoffeigenschaft-ändern* treten daneben die verschiedenartigsten Wirkmedien und -energien auf; als Werkzeugmaschinen werden die Fertigungseinrichtungen nicht bezeichnet.

Die einzelnen Funktionen innerhalb des Gesamtsystems lassen sich in den folgenden **Grundfunktionen** zusammenfassen, denen jeweils ein oder mehrere Untersysteme zugeordnet sind:

- Zuführung des Rohteils bzw. Rohstoffs und Abtransport des Fertigteils.
- Heranführung des Werkzeugs, Wirkmediums und der Wirkenergie an das Werkstück und ihre Zurückführung nach Beendigung des Wirkens.
- Fixierung des Werkstücks während der Bearbeitung.
- Durchführung des Wirkprozesses (die eigentliche Veränderung der geometrischen Form oder der Stoffeigenschaft).
- Bereitstellung aller Hilfsstoffe und Hilfsfunktionen.
- Entsorgung des Abfalls.
- Steuerung des gesamten Vorgangs.
- Sammlung und Speicherung von Informationen zur *Qualitätssicherung* (359ff) und Dokumentation.

Aus den Funktionen ergeben sich die einzelnen Unter- bzw. Teilsysteme, die sowohl bei einer Einzelmaschine als auch innerhalb eines Mehrmaschinensystems oder innerhalb einer Fertigungsanlage vorzufinden sind (Bild 1).

Maschinengrundsystem

Es umfasst alle Einheiten, die für die **Grundfunktionen** einer einfachen Maschine benötigt werden.

Auf dem **Gestell** werden alle anderen Bauteile funktionsgerecht montiert. Es nimmt Kräfte und Schwingungen auf, leitet sie weiter in den Untergrund oder dämmt und dämpft sie in solchem Maße, dass die Funktionen aller anderen Bauteile nicht beeinträchtigt werden und auch die Schallemissionen das vorgeschriebene Maß nicht überschreiten. Im Allgemeinen besteht das Gestell aus einigen miteinander verbundenen Bauteilen.

Die **Antriebseinheiten** bewirken Kräfte und Bewegungen sowohl vom Werkzeug als auch vom Werkstück. Sie können mit elektrischer, mechanischer, pneumatischer oder hydraulischer Energie betrieben werden, die sowohl als Wirkenergien als auch als Bewegungsenergien auftreten. Zum Antriebssystem gehören Einheiten zur Umwandlung der Energie (wie z. B. Motoren), aber auch solche, die Bewegungen umwandeln oder umleiten (z. B. Getriebe).

Der **Werkzeugträger** ist dasjenige Bauteil des Maschinengrundsystems, bei dem an der **Werkzeugspannstelle** das Werkzeug oder das Werkzeugsystem befestigt ist. Der **Werkstückträger** hält das Werkstück oder das *Werkstückhandhabungssystem*, das an der *Werkstückspannstelle* mit dem Maschinengrundsystem verbunden ist.

Alle **Steuerungen**, gleichwie ob sie auf mechanischem, pneumatischem, hydraulischem oder elektrischem Wege funktionieren, also Getriebe, Vorschubeinrichtungen, Zustellvorrichtungen o.Ä., sind gleichfalls Teile des Grundsystems.

Bei der Systematisierung der Bau- und Funktionseinheiten ist festzustellen, dass einige Baueinheiten mehrere Funktionen erfüllen. Getriebe sind z. B. sowohl Teile des Antriebs- als auch des Steuerungssystems. Deshalb müssen beim Zuordnen der Untersysteme die Baueinheiten von den Funktionseinheiten unterschieden werden.

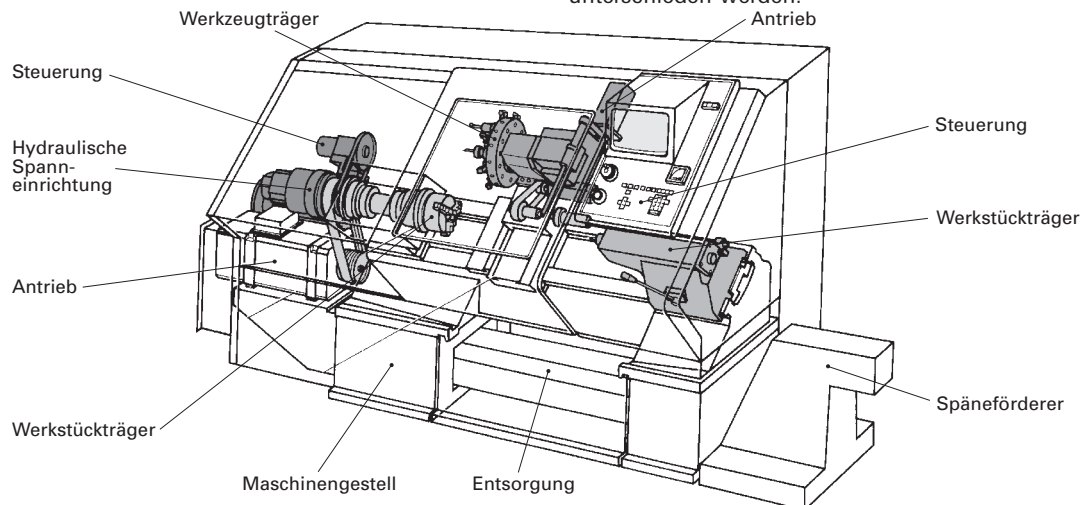


Bild 1: CNC-Universaldrehmaschine

Werkzeugsystem

Es umfasst alle für die Bearbeitung auf einer Werkzeugmaschine notwendigen Werkzeuge sowie Einrichtungen zu ihrer Bereitstellung. Das Werkzeugsystem wird an der **Werkzeugspannstelle** mit dem *Maschinengrundsystem* verknüpft. Neben den eigentlichen zur Bearbeitung des Werkstücks eingesetzten Werkzeugen gehören zum Werkzeugsystem die Vorrichtungen für ihre Einspannung, die Handhabung, die Zu- und Abführung der Werkzeuge an die *Werkzeugspannstelle*, die Einrichtungen zu ihrem Auswechseln und das Magazin.

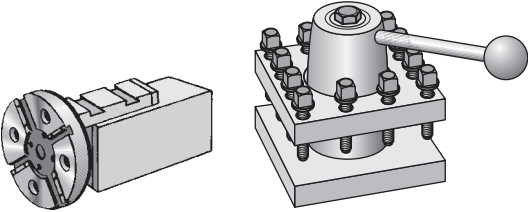


Bild 1: Werkzeugwender

Bild 2: Werkzeughalter

Werkstückhandhabungssystem

Alle Bauteile und Einrichtungen, die zur Bereitstellung und Arretierung des Werkstücks erforderlich sind, bilden das Handhabungssystem. Es ist an der **Werkstückspannstelle** mit dem *Maschinengrundsystem* verklammert. Neben den eigentlichen Spannvorrichtungen umfasst das Werkstückhandhabungssystem auch Einrichtungen für die Zubringung und die Rückführung der Werkstücke, ihre vorläufige Speicherung, die Sortierung sowie die Lageveränderung bei der Bearbeitung mehrerer Flächen eines Werkstücks. Teile dieses Systems können sich auch außerhalb des Maschinengrundsystems befinden.

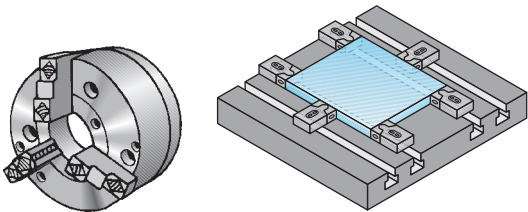


Bild 3: Spannfutter

Bild 4: Tiefenspannbacke

Hilfssysteme

Darunter sind alle jene Funktionseinheiten zu verstehen, durch die der eigentliche Fertigungsvorgang unterstützt, vorbereitet oder auf andere Art ermöglicht wird. Bei der spanenden Fertigung gehören z. B. dazu Prüf-, Mess- und Einstellgeräte, Schmiereinrichtungen für alle Lager und Führungen, das Kühl-Schmier-system für die Wirkstelle sowie Schutzvorrichtungen für Menschen und Entsorgungseinrichtungen für Abfälle und Kühlschmiermittel.

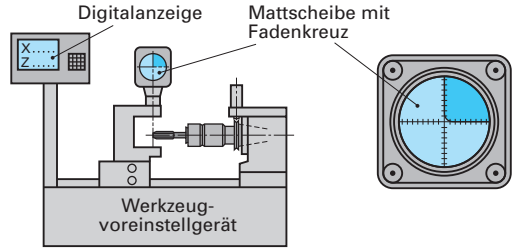


Bild 5: Externe Werkzeugvermessung

Steuerungs-, Mess- und Regelsystem

Das funktionsgerechte Zusammenwirken aller anderen Systeme wird durch die Steuerung veranlasst. Diese Funktionseinheit umfasst die Dateneingabe, -speicherung, -verarbeitung, -weiterleitung und -ausgabe an die Funktionseinheiten oder an übergeordnete Systeme, wie z. B. Leitrechner. Daneben besitzt dieses Untersystem eine Reihe von Einrichtungen zur Überwachung der Funktion wesentlicher Einzelsysteme und zur Signalisierung von Störungen. Eng verbunden ist es in manchen Fällen mit dem *Programmiersystem*, von wo es alle Informationen erhält, die den Fertigungsvorgang steuern. Anstelle des Programmiersystems tritt bei älteren Maschinen oder in der Einzelfertigung der Mensch, der auch Steuerungs-, Mess- und Regelungsfunktionen mit Hilfe entsprechender Vorrichtungen übernehmen kann.

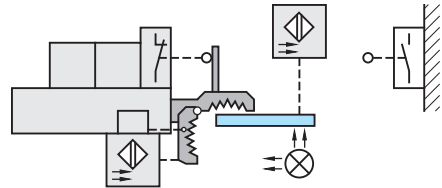


Bild 6: Steuerung eines Handhabungsautomaten

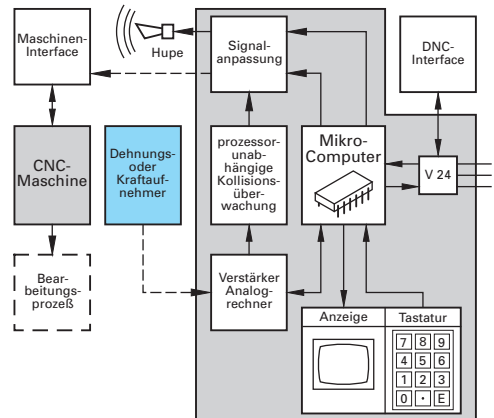


Bild 7: Werkzeugüberwachung

Programmiersystem

Mit ihm werden alle für den Fertigungsablauf notwendigen Parameter und Anweisungen in Form eines Algorithmus gespeichert. Benutzt werden analoge oder digitale Datenträger wie Schablonen, Kurven, Nocken oder Lochstreifen, Magnetbänder und Disketten bzw. Speicherchips oder CD-ROMs.

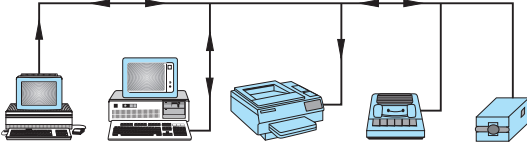


Bild 1: Speicherprogrammierte Steuerung

Verfahrensspezifische Maschinen und Einrichtungen

In der Regel kann man bestimmte Anlagen jeweils nur einem Verfahren oder einer verwandten Gruppe (z. B. Bohren und Fräsen) zuordnen. Manche Werkzeugmaschinen, am bekanntesten sind dafür die Pressen, lassen sich bei gleicher Kinematik jedoch auch in mehreren Verfahrenshauptgruppen einsetzen, z. B. zum Umformen oder Stanzen.

Einrichtungen zum Urformen

Bei der Herstellung des Fertigteils aus dem formlosen Stoff wird in der Regel eine Hohlform unter Wirkung der Schwerkraft oder einer anderen mechanischen Energie gefüllt. Eine Kombination mit den Verfahren der Hauptgruppen Fügen und Beschichten liegt vor, wenn z. B. ein durch **Aufdampfen** hergestellter Hohlkörper als Folie mit der Unterlage bzw. dem Substrat verbunden bleibt. Analog zu den Maschinen der Gruppen Umformen, Trennen und Fügen werden die vom Rohstoff ausgefüllten Formen oft als **Formwerkzeuge** bezeichnet.

Anlagen und Einrichtungen zur Serienherstellung z. B. gegossener Bauteile besitzen sinngemäß alle vorher aufgeführten Bau- und Funktionseinheiten.

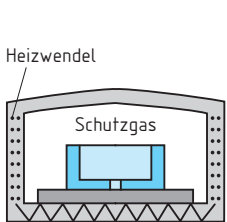


Bild 2: Sintern

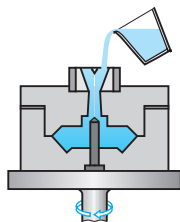


Bild 3: Fließkraftgießen

Maschinen zum Umformen

Ihre Gliederung erfolgt unter pragmatischen Gesichtspunkten entweder nach der Art und Weise, wie die Kraft aufgebracht wird (stoßartig oder kontinuierlich), wie die Hauptbewegung gerichtet ist (geradlinig oder kreisförmig) oder gemäß der geometri-

schen Form des Rohteils (massives Werkstück oder aus Blech, Rohr, Draht u. a.). Die Gliederungskriterien überschneiden sich manchmal, hauptsächlich sind die beiden ersten Gesichtspunkte entscheidend.

- **Pressen** (96ff)
- **Hämmer** (100ff)
- **Walzmaschinen** (104ff)
- **Biegemaschinen** (104, 107f)
- **Ziehmaschinen** (104)
- **Maschinen zum Umformen mit Wirkmedien oder Wirkenergie** (75f)

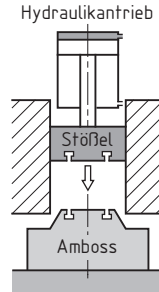


Bild 4: Oberdruckhammer

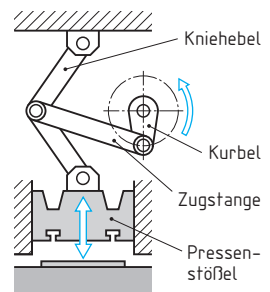


Bild 5: Kniehebelpresse

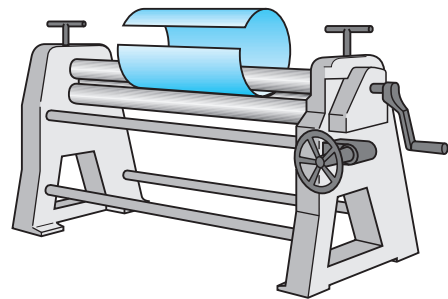


Bild 6: Rundbiegemaschine

Maschinen zum Trennen

Hierzu gehören zerteilende, spanende und abtragende Werkzeugmaschinen. Durch ein zerteilendes oder spanabhebendes Werkzeug, eine Wirkenergie (z. B. Laserstrahl) oder ein Wirkmedium werden Teile des Rohteils abgetrennt, bis die mit diesem Verfahren erreichbare Form des Fertigteils entsteht.

Zerteilende Maschinen

- Beim **Scherschneiden** sind die Werkzeuge fest mit der Maschine verbunden.
- **Keilschneiden** erfordert auswechselbare Werkzeuge verbunden mit Maschinen, deren Bewegungsablauf dem der Umformmaschinen ähnlich ist. Bei anderen Trennverfahren werden Wirkmedien wie erhitzte Gase, die Energie von Laser- oder Elektronenstrahlen sowie elektrische Lichtbögen benutzt.

Maschinen zum Spanen mit geometrisch bestimmten und unbestimmten Schneiden

Viele dieser Maschinen unterscheiden sich in ihrer Kinematik nicht grundsätzlich voneinander; weitaus bestimmender ist es, ob das Werkstück oder das Werkzeug eine geradlinige oder eine kreisförmige Bewegung ausführt.

- Drehmaschinen (162ff)
- Bohrmaschinen (190ff)
- Fräsmaschinen (200ff)
- Hobelmaschinen (209f)
- Räummaschinen (214f)
- Sägemaschinen (218f)
- Feilmaschinen (221)
- Bürstmaschinen (222)
- Strahlspananlagen (242, 305)
- Bandschleifmaschinen (237f)
- Hubschleifmaschinen (239)
- Honmaschinen (240)
- Läppmaschinen (241)
- Gleitspanmaschinen (242)

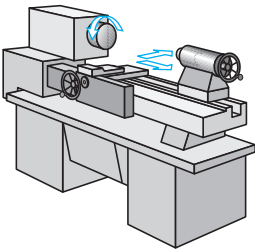


Bild 1: Flachbettdrehmaschine

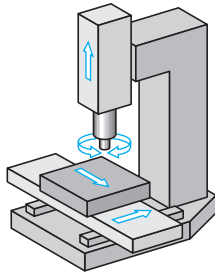


Bild 2: Senkrechtfräsmaschine

Das Wirkmedium bzw. die Wirkenergie werden teilweise auch ohne Zwischenschaltung eines Werkzeugs mit der Oberfläche des Werkstücks in Verbindung gebracht und lösen formlose Teilchen von ihr ab (z. B. beim Erodieren oder Strahlspanen).

Einrichtungen und Maschinen zum Fügen

Sie sind in ihrer Wirkungsweise höchst unterschiedlich und werden häufig nicht Maschinen genannt, wie z.B. eine Schweißanlage. Entsprechende Arbeiten werden häufig auch mit Handwerkzeugen durchgeführt (Einzelmontage).

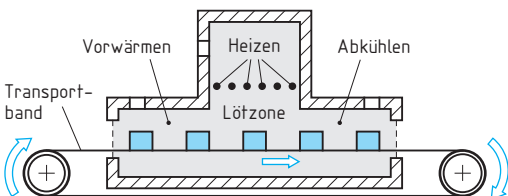


Bild 3: Durchlauf-Lötöfen

Hingegen ist es üblich, kleinere Maschinen als Werkzeuge zu bezeichnen oder ihnen werkzeugähnliche Bezeichnungen zu geben wie Schrauber, Niethammer, LötKolben. Viele Fügeverfahren werden in komplexen Einrichtungen, wie z. B. Falzmaschinen oder in Punktschweißanlagen, durchgeführt.

Einrichtungen zum Beschichten

Bei diesen Verfahren wird eine sehr dünne Schicht auf die Oberfläche des Grundwerkstücks (hier Substrat genannt) festhaftend, aber ohne eine chemische oder metallurgische Verbindung einzugehen, aufgebracht. Mechanische, Wärme-, chemische oder Elektroenergie wirken teils allein, teils in Kombinationen.

Der Beschichtungswerkstoff gelangt in formlosem Zustand auf das Substrat und verfestigt sich dort. Die Haftung geschieht durch Adhäsion. Häufig wird die Beschichtung mit Werkzeugen aufgebracht wie z. B. Spritzpistolen. In anderen Fällen durch ein Wirkmedium wie z. B. Elektrolytlösungen.

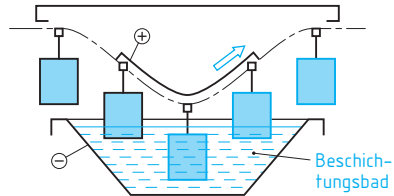


Bild 4: Anlage zum Elektrotauchlackieren

Anlagen zum Stoffeigenschaftändern

Unterscheiden muß man hier, ob nur eine Randschicht des Werkstücks eine chemische oder physikalische Änderung erfährt, wie z. B. beim *Randschichthärten* (351f, 354ff), oder das gesamte Gefüge, wie z. B. beim *Rekristallisationsglühen* (348). Selten werden Vorrichtungen in der Art von Werkzeugen angewendet, wie z. B. beim Induktionshärten. In der Regel kommen nur Wirkmedien und Wirkenergien in geschlossenen Anlagen zum Einsatz.

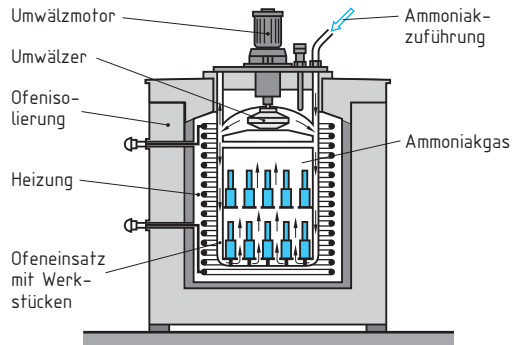


Bild 5: Nitrierofen

Qualitätsmanagement in der Fertigung

Die Problematik der Qualität eines Erzeugnisses ergibt sich aus den Anforderungen des Kunden und den Möglichkeiten des Herstellers. Schon vor der auf internationaler Basis entwickelten Erarbeitung und Normung von **Qualitätsmanagement-Systemen** war die **Qualitätssicherung** ein fester Bestandteil des Fertigungsablaufes (8, 359ff). Der in Deutschland früher übliche Begriff der Qualitätssicherung wurde nach der internationalen Angleichung der Terminologie durch Qualitätsmanagement ersetzt und soll in seiner gegenwärtigen Begrifflichkeit (Qualitätsdarlegung) möglichst vermieden werden. In Anlehnung an die allgemeinere Definition nach DIN ISO 8402 lässt sich für ein industriell hergestelltes Erzeugnis festlegen: Qualität ist die Gesamtheit von Merkmalen eines Produkts bezüglich seiner Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen. Die moderne **Qualitätsphilosophie** ist kundenorientiert. Die vom Produkt zu leistenden Erfordernisse entsprechen den Qualitätsanforderungen des Kunden. Unter diesem Aspekt ist unter „Kunde“ sowohl der konkrete Besteller als auch der anonyme Teilnehmer am Weltmarkt zu verstehen. Abzugrenzen ist die maßgebliche Definition für Qualität von den umgangssprachlichen, manchmal aber noch bei Technikern anzutreffenden Gleichsetzungen mit Gebrauchstauglichkeit oder höchsterreichbaren Eigenschaften. Ein Produkt kann auch bei Unterschreitung der Qualitätsanforderungen gebrauchstauglich sein. Die Überschreitung der Anforderungen hingegen bedingt in der Regel höhere Produktionskosten, ohne im betreffenden Fall erforderlich zu sein. Die Gewährleistung einer gleichmäßigen Qualität ist nicht allein auf die Fertigung beschränkt. Deshalb ist die **Organisierung von Qualität** notwendig. Zur Veranschaulichung der Struktur von Qualitätsmanagementsystemen wurden mehrere Modelle entwickelt, das bekannteste ist der Qualitätskreis.

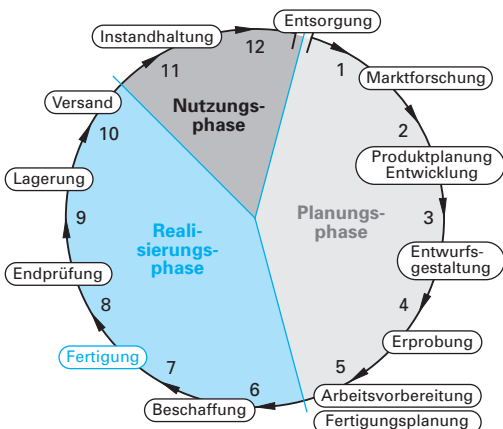


Bild 1: Qualitätskreis

Der Qualitätskreis

Von den zwölf Elementen und drei Phasen des **Qualitätskreises** (365) gehört die Fertigung zur Realisierungsphase. Obwohl bei einem gut funktionierenden Qualitätsmanagement-System auch die anderen Elemente durch Rückkopplungsprozesse und Marktforschung Einfluss auf die Fertigung haben, brauchen nur die benachbarten Elemente bezüglich der Einwirkung auf die Fertigung betrachtet zu werden:

- Produktgestaltung und -entwicklung
- Entwurfsgestaltung und -ausführung (Prototyp)
- Erprobung (Testdurchführung)
- Fertigungsplanung (mit der Arbeitsvorbereitung)
- Beschaffung (Rohstoffe, Bauteile, Hilfsstoffe)
- Endprüfung (u. a. Funktionstüchtigkeit)

Zum Element **Beschaffung** gehört für alle Rohstoffe, Halbfertigteile, Hilfsstoffe und komplette Subsysteme die **Eingangsprüfung**.

Die fertigungsgerechte **Konstruktion** fordert genauso wie die entsprechende **Arbeitsplanung** die Einhaltung der Qualitätsanforderungen durch die Fertigung.

Im **Produktionsablauf** erfolgen mehrere Zwischenprüfungen, die Bestandteil des Fertigungsablaufs sind. Entsprechende Prüfeinrichtungen sind häufig Bestandteile der Produktionsmaschinen und -anlagen.

Die im **Qualitätskreis** erkennbaren Stationen der Produktentwicklung und -realisierung vom Marketing über die Herstellung bis zum Verkauf und der eventuellen Installation beim Kunden stellen einen **Wertschöpfungsprozess** dar. Vor dem ersten Fertigungsschritt sind schon Kosten entstanden, die mit jeder Komponente des Qualitätskreises steigen. Proportional dazu erhöhen sich die Fehlerkosten. Wenn man die Etappen des Qualitätskreises von der Produktidee bis zum Kunden in drei Gruppen zusammenfasst, gilt im Ungefähren die so genannte **Zehnerregel der Fehlerkosten**: danach steigen die Fehlerkosten bei jeder Gruppe um das 10fache.

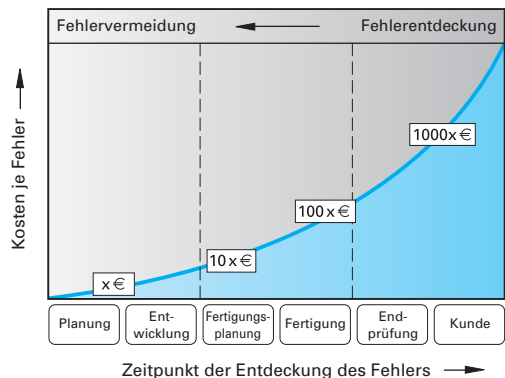


Bild 2: Anstieg der Fehlerkosten im Qualitätskreis

Fehlererkennung und -beseitigung

Traditionellerweise wurden während des Fertigungsprozesses zwischen der Eingangsprüfung des Rohteils und der Endprüfung des Fertigteils je nach Zahl der Fertigungsstufen weitere Prüfungen durchgeführt.

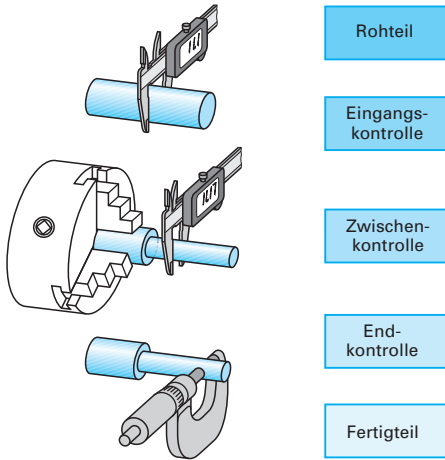


Bild 1: Prüfungen während der Fertigung

Die Fehler lassen sich in zufällige und systematische unterscheiden, resultierend aus zufälligen und systematischen Einflüssen auf den Fertigungsprozess.

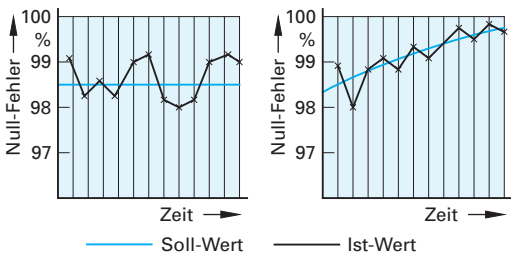


Bild 2: Zufällige und systematische Fehler

Bei einer Fräsmaschine ergibt sich aus dem allmählichen Verschleiß der Fränerschneiden eine messbare Verschlechterung der Prüfwerte. Abhilfe bei diesem systematischen Fehler kann durch Änderungen im Prozess geschaffen werden. Ein durch Unachtsamkeit des Prüfers entstandener unbemerkter Schaden am Prüfgerät ist dagegen ein zufälliger Fehler. Eine Wiederholungsmessung am selben Prüfling mit einem anderen Prüfgerät lässt den Fehler erkennen.

Jahrzehntelang wurde in der industriellen Massenproduktion das Auftreten eines bestimmten Anteils fehlerhafter Produkte akzeptiert. Die erforderliche Qualität der Gesamtproduktion wurde durch Aus-sortieren fehlerhafter Teile gesichert. Die gegenwärtigen Anforderungen jedoch bedingen eine **Null-Fehler-Strategie**. Eine wirksame Methode, Fehler frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden, ist die **Statistische Prozessregelung (SPC)**.

Die **Fehleranalyse** erfolgt mit Hilfe der Prüfergebnisse. Während bei Einzelfertigung oder Kleinserien jedes einzelne Produkt geprüft wird, arbeitet man bei Massenproduktion in Großserien mit Hilfe von **Stichproben**. Ihre Anzahl und Häufigkeit ergeben sich aus den Regeln der Statistik. Ein Hilfsmittel der Analyse ist die **Normalverteilungskurve**.

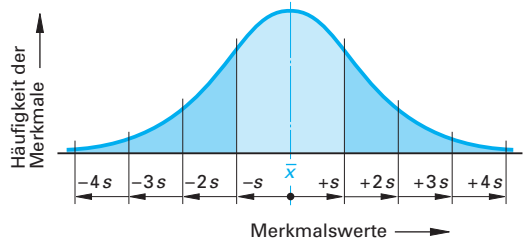


Bild 3: Normale Häufigkeitsverteilung

Die Normalkurve ist symmetrisch aufgebaut, ihr Scheitelpunkt entspricht dem Mittelwert der Fehler. Je größer die Abweichungen vom Mittelwert sind, desto geringer ist ihr Prozentanteil. Sie geben Hinweise auf spezifische Fehlerquellen. Betrachtet man die *SPC* als Regelkreis, so ist die Fehlerursache die Störgröße, die die Abweichung des gemessenen Ist-Wertes vom vorgesehenen Soll-Wert bewirkt. Eine Änderung der Prozessparameter zur Eliminierung der Störgröße, also die Neueinstellung der Stellgröße, ergibt verbesserte Prozessparameter.

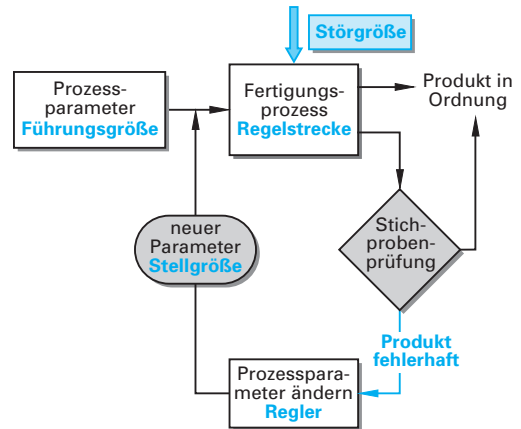


Bild 4: Regelung des Fertigungsprozesses

Literatur

DIN 8580 Fertigungsverfahren – Begriffe; Einteilung, 2003
 DIN 40150 Begriffe zur Ordnung von Funktions- und Baueinheiten, 1997
 DIN EN ISO 8402 Qualitätsmanagement – Begriffe, 1994
 DIN EN ISO 9000 Qualitätsmanagement – Systeme König, Hg., Fertigungsverfahren, 5 Bde., Düsseldorf 2006
 Müller, Lexikon Technologie, Haan 1992

2 URFORMEN

Inhaltsübersicht

Urformen

Allgemeines

Verfahrensprinzip beim Urformen, Urformfähiger Werkstoffzustand, Urformwerkzeuge, Füllung der Urformwerkzeuge, Übergang des urformfähigen Zustands in den festen Aggregatzustand, Urformen (Übersicht nach Normung), Kurzbeschreibung weiterer Urformgruppen.

Urformen aus dem flüssigen Zustand

Formgebung bei metallischen Werkstoffen durch Gießen

Herstellung von Halbzeugen, Gießprozess, Erstarrung, Gießbarkeit, Gussfertigung mit verlorenen Formen, Gussputzen, Gussfertigung mit Dauerformen, Eigenschaften der Gusswerkstoffe.

Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand

Pulvermetallurgie

Pulvermetallurgische Prozesse (Übersicht), Pulverherstellung, Pulverteilchenformen (Übersicht), Pulverarten, Pulvereigenschaften, Pulvervorbehandlung, Pressen, Pulvermetallurgische Spritzgießtechnik, Sintern, Weiterbehandlung nach dem Sintern, Eigenschaften der Sinterwerkstoffe, Einteilung der Sinterwerkstoffe, Vor- und Nachteile der Pulvermetallurgie, Konstruktionsbeispiele.

Urformen aus dem ionisierten Zustand

Galvanoformung, Badmodelle, elektrolytische Abscheidung, Einsatzmöglichkeiten.

Urformen

Allgemeines

Nach DIN 8580 ist Urformen das Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff durch Schaffen des Zusammenhalts. Das *Urformen* dient also dazu, einem zu verarbeitenden Werkstoff, der sich im formlosen Zustand befindet, erstmals eine Gestalt zu geben. Als formlose Stoffe gelten Gase, Flüssigkeiten, Pulver, Fasern, Späne, Granulate, Lösungen, Schmelzen u. Ä. Das Urformen kann hinsichtlich der Gestalt der Erzeugnisse und deren Weiterverarbeitung in drei Gruppen unterteilt werden:

1. Die Erzeugnisse werden durch Umformen, Zerteilen, Trennen und Fügen weiterverarbeitet. Das end-

gültige Erzeugnis ist in seiner Gestalt und seinen Abmessungen dem ursprünglich urgeformten Produkt nicht mehr ähnlich, d. h., es erfolgt mit Hilfe anderer Verfahrenshauptgruppen der Fertigungstechnik noch eine wesentliche Gestalt- und Abmessungsänderung.

2. Die Erzeugnisse haben weitestgehend die Gestalt und die Abmessungen von fertigen Bauteilen (z. B. Maschinenelementen) oder von Enderzeugnissen (Finalprodukten), d. h., sie weisen eine Gestalt auf, die dem Verwendungszweck des Erzeugnisses sehr nahe kommt. Zur Herstellung der gewünschten endgültigen Gestalt sowie der Fertigmaße sind meist nur noch Arbeitsoperationen der Verfahrenshauptgruppe Trennen (Spanen) erforderlich.

3. Durch Zerstäuben aus der Schmelze werden Metallpulver hergestellt, die sich im Rahmen der *pulvermetallurgischen Fertigung* (47) zu Sinterteilen verarbeiten lassen.

Die **Herstellung von Formteilen** aus metallischen Werkstoffen in der Gießereindustrie (Gussstücke), aus metallischen Werkstoffen in der Pulvermetallurgie (Sinterteile) und aus hochpolymeren Werkstoffen in der Kunststoff verarbeitenden Industrie weist große wirtschaftliche Vorteile auf:

- Sie ist der kürzeste Weg vom Rohstoff zum Fertigteil, da sie das Umformen mit allen damit verbundenen Aufwendungen umgeht. In einem direkten Arbeitsgang wird nahezu die endgültige Gestalt eines Fertigteils erreicht, das z. B. in der Gießereindustrie eine Masse von weniger als 1 Gramm bis zu mehreren hundert Tonnen haben kann.
- Bei der Herstellung von Formteilen, die aus dem flüssigen Zustand urgeformt werden, liegt die größte Freizügigkeit des Gestaltens vor, die mit keinem anderen Fertigungsverfahren erreicht werden kann.
- Beim Urformen können auch Werkstoffe verarbeitet werden, die sich mit anderen Fertigungsverfahren nicht herstellen lassen. Durch den direkten Weg von Rohstoffen zu Formteilen oder Finalprodukten ergeben sich günstige Material- und Energiebilanzen.
- Durch die ständige Weiterentwicklung der Urformverfahren können in zunehmendem Maß Bauteile und Finalprodukte mit höheren Gebrauchseigenschaften erzeugt werden, d. h. Formteile mit geringeren Wanddicken, geringeren Bearbeitungszugaben, geringeren Maßabweichungen und besserer Oberflächenqualität (endabmessungsnahes Fertigen).

Im Handbuch werden unter Einschränkung auf die Belange der Metallbearbeitung das Urformen von metallischen Werkstoffen aus dem flüssigen Zustand im Rahmen der Gießereitechnik, das Urformen metallischer Werkstoffe aus dem festen Zustand im Rahmen der *Pulvermetallurgie* (46ff) und das Urformen von **hochpolymeren Werkstoffen** (Kunststoffen) aus dem plastifizierten Zustand oder aus Lösungen auf gemeinsamer Basis hinsichtlich der technologischen Grundprinzipien behandelt.

Zur besseren Erkennbarkeit des angewendeten Wirkprinzips scheiden zahlreiche für die spezielle Fertigungstechnologie zwar unbedingt notwendige, aber untergeordnete technologische Detailoperationen aus. Außerdem werden bei der Behandlung der speziellen Urformverfahren nur einfach gestaltete Erzeugnisse gewählt, weil die Vielfalt der möglichen geometrischen Formen sich hier nicht darstellen lässt.

Es werden nur die wichtigsten Urformverfahren ausgewählt, weil bei den zahlreichen technologischen Verfahren und Verfahrensvarianten keine auch nur annähernde Vollständigkeit erreichbar ist. Die Auswahl erfolgt einerseits nach der technischen Wichtigkeit und andererseits nach dem angewendeten Wirkprinzip.

Werkstoffkundliche Fragen kommen in diesem Kapitel nur kurz zur Sprache, obwohl sie für das Verständnis der technologischen Prozesse (z. B. Anwendbarkeit, Leistungsfähigkeit) und ihre Auswirkungen (z. B. Stoffeigenschaftsänderungen) wichtig sind. Im Kapitel 12 werden Werkstoffe, die für die Metallbearbeitung Bedeutung haben, im Zusammenhang vorgestellt.

Verfahrensprinzip beim Urformen

Prinzipiell besteht bei den **Urformverfahren** der technologische Fertigungsprozess aus folgenden Schritten:

- Bereitstellung oder Herstellung des Ausgangsmaterials als formlosen Stoff
- Herstellung eines urformfähigen Werkstoffzustands
- Füllung eines Urformwerkzeugs mit dem Werkstoff im urformfähigen Zustand
- Übergang des Werkstoffs im Urformwerkzeug in den festen Zustand
- Entnahme des urgeformten Erzeugnisses aus dem Urformwerkzeug

Nachstehend sollen diese einzelnen Schritte näher erläutert werden.

Urformfähiger Werkstoffzustand

Beim Urformen von metallischen Werkstoffen aus dem flüssigen Zustand werden die Ausgangsmaterialien (Roheisen, Schrott, Ferrolegierungen, Primär- und Sekundärmetalle u. Ä.) in einem metallurgischen Schmelzofen durch Zufuhr von Wärmeenergie geschmolzen. Die Schmelzöfen sind meist vom Urformwerkzeug örtlich getrennt. Die hergestellte Schmelze wird mit Hilfe von Transportgefäßen (Gießpfannen) zu den *Urformwerkzeugen*, in der Gießereitechnik **Formen** genannt, gebracht und dort vergossen.

Zum Urformen *hochpolymerer Werkstoffe* aus dem plastifizierten Werkstoffzustand werden schüttfähige Ausgangsmaterialien (Granulate, Pulver) nach Dosierung in ein Aufbereitungsaggregat gegeben, das mit dem Urformwerkzeug meist eine Einheit bildet, wo unter Einwirkung von Wärme und Druck eine Durchmischung, Homogenisierung und Plastifizie-

rung des zu verarbeitenden Werkstoffs erfolgt. Beim Arbeiten mit Lösungen werden diese in einem Mischaggregat hergestellt und anschließend in das Urformwerkzeug gegossen.

Zum Urformen metallischer, aber auch hochpolymerer Werkstoffe aus dem festen Zustand kommen die schüttfähigen Ausgangsmaterialien (Metallpulver, Kunststoffpulver oder Keramikpulver) direkt in das Urformwerkzeug, in dem sie unter der Wirkung von Druck und Wärmeenergie sintern oder zunächst plastifizieren und anschließend fest werden.

Urformwerkzeuge

Das Urformwerkzeug enthält einen Hohlraum, der unter Berücksichtigung des Schwindmaßes in den meisten Fällen der Gestalt des zu fertigenden Produkts (Rohteils) entspricht, aber auch kleiner oder größer als das entstehende Rohteil sein kann. Außerdem sind in den Urformwerkzeugen oft Kanalsysteme für die Zufuhr des urformfähigen Werkstoffs vorhanden. Das **Schwindmaß** entspricht den Maßänderungen, die am zu verarbeitenden Werkstoff vom Zeitpunkt des Festwerdens bis zu seiner Abkühlung auf Raumtemperatur auftreten.

Man unterscheidet bei der Herstellung von Formteilen Urformwerkzeuge für einmaligen oder für mehrmaligen Gebrauch. Urformwerkzeuge für einmaligen Gebrauch kommen nur beim Urformen metallischer Werkstoffe aus dem flüssigen Zustand im Rahmen der Gießereitechnik zur Anwendung. Sie werden als **verlorene Formen** bezeichnet. Es lässt sich jeweils nur ein Erzeugnis (Gussstück) fertigen, da die Form anschließend zerstört wird. In der Gießereitechnik werden aber auch Urformwerkzeuge für mehrmaligen Gebrauch (**Dauerformen**) eingesetzt, mit denen eine größere Anzahl von Formteilen herstellbar ist. Die Urformtechnologien zur Verarbeitung von hochpolymeren Werkstoffen und die Pulvermetallurgie arbeiten ausschließlich mit Urformwerkzeugen für mehrmaligen Gebrauch. Sie bestehen meist aus metallischen, seltener aus nichtmetallischen Werkstoffen. Urformwerkzeuge für einmaligen Gebrauch (verlorene Formen) werden jeweils mit Hilfe von Modellen angefertigt.

Füllung der Urformwerkzeuge

Die Füllung der Urformwerkzeuge mit dem urformfähigen Werkstoff kann mit folgenden Wirkprinzipien verwirklicht werden: durch

- Einfluss der Schwerkraft
- einen erhöhten Druck
- Schleuderkraft (Zentrifugalkraft)
- Verdrängung

Der zu verarbeitende Stoff kann dabei in fester schüttfähiger Form (z. B. Pulver), als Schmelze bei metallischen Werkstoffen bzw. im plastifizierten Zustand, als Lösung oder in Form von Pasten bei hochpolymeren Werkstoffen in das Urformwerkzeug gegeben werden.

Übergang des urformfähigen Zustands in den festen Aggregatzustand

Flüssige metallische Werkstoffe (Schmelzen) gehen bei der Abkühlung infolge Wärmeentzug durch Kristallisation in den festen Aggregatzustand über.

Bei hochpolymeren Stoffen (z. B. thermo- oder duroplastische Kunststoffe) erfolgt der Übergang auf unterschiedliche Weise:

Thermoplaste werden nach der Formgebung im Urformwerkzeug abgekühlt. Wegen der Temperaturerniedrigung, die entweder durch Wärmeentzug in gekühlten Werkzeugen oder in Nachfolgeeinrichtungen (Kühlbädern) erfolgt, durchläuft die plastische Masse die Zustandsbereiche plastisch – gummiartig – elastisch – fest. Beim Fixieren durch Abkühlen werden im *Thermoplast* Nebervalenzbindungen wiederhergestellt. Dieser Vorgang ist wiederholbar. Deshalb lassen sich Thermoplaste durch Wiedererwärmung abermals in den plastischen Zustand überführen.

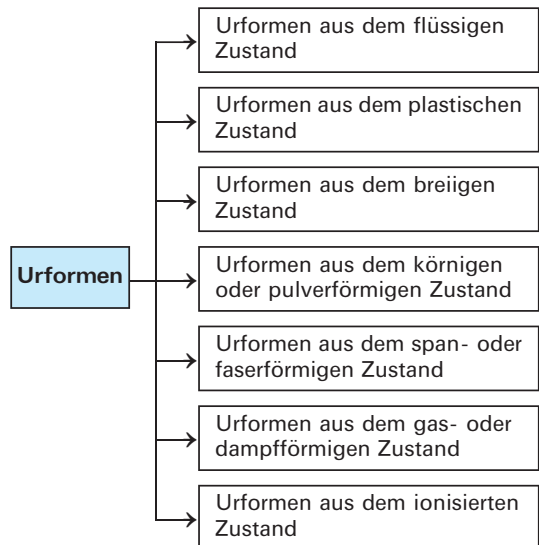
Duroplaste sind vernetzbare Kunststoffe, die nach der Formgebung durch eine Härtung fixiert werden. Dabei bilden sich Hauptvalenzbindungen aus, und die plastifizierte Masse geht unter Einwirkung von Druck und/oder Wärme unmittelbar in den festen Zustand über. Das Härten ist ein chemischer Vorgang, der nicht reversibel ist. Duroplaste zersetzen sich bei Wiedererwärmung, ohne einen plastischen Zustandsbereich durchlaufen zu haben.

Chemische Grundreaktionen beim Übergang in den festen Zustand sind Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition.

Beim Urformen von hochpolymeren Werkstoffen kann der Übergang in den festen Aggregatzustand beim Arbeiten mit Lösungen auch durch den physikalischen Vorgang des Verdunstens des Lösungsmittels erfolgen.

Das Urformen durch **Sintern** führt zu einer Verkleinerung der inneren und äußeren Oberfläche eines aus einem Pulver gepressten Körpers. In Berührung befindliche Pulverteilchen werden durch Auftreten oder Verstärkung von Bindungen (Stoffbrücken) bzw. durch Reduzierung des Hohlraumanteils miteinander verbunden; dabei bleibt mindestens eine der beteiligten Werkstoffkomponenten während des gesamten Prozesses fest. Die Verbindung des porigen gepressten Pulverkörpers geschieht vorwiegend durch Diffusionsvorgänge.

Im Zusammenhang mit der Darstellung des Urformens aus technologischer Sicht muss auf weitere Einzelheiten der Prozesse, die beim Übergang vom urformfähigen Zustand eines Stoffs in den festen formstabilen Zustand ablaufen, verzichtet werden.



Das Handbuch der Metallbearbeitung wird ausführlicher nur die Gruppen Urformen aus dem flüssigen Zustand (Gießen), Urformen aus dem körnigen und pulverförmigen Zustand (Pulvermetallurgie) sowie Urformen aus dem ionisierten Zustand (Galvanofornung) vorstellen.

Kurzbeschreibung weiterer Gruppen:

Zum **Urformen aus dem plastischen Zustand** gehören u. a. die Verfahren Spritzgießen, Spritzpressen, Strangpressen und Kalandrieren.

Durch **Spritzgießen** lassen sich maßgenaue, dünnwandige Formteile aus Kunststoff herstellen. In Spritzgussmaschinen wird Granulat plastiziert und mit hoher Geschwindigkeit in ein Werkzeug gespritzt, in dem es unter Druck erstarrt.

Beim **Spritzpressen** werden plastizierte Pressmassen in den Hohlraum eines beheizten Umformwerkzeuges gespritzt.

Von **Extrudieren** spricht man, wenn plastizierter Kunststoff mittels Schneckenrotation oder Kolbendruck durch ein profiliertes Werkzeug ins Freie gepresst und abgezogen wird.

Das **Kalandrieren** erfolgt in Walzwerken. Dabei entstehen aus plastizierten Kunststoffmassen flächige Erzeugnisse oder Schichten auf Trägermaterialien. Unter **Urformen aus dem breiigen Zustand** versteht man Gießen von Beton, Gips, Porzellan oder Keramik. Zum **Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand** gehören außer der Pulvermetallurgie auch das Formen mit Sand, wie z. B. bei der Herstellung von *Gießformen* (25f), und das Urformen durch *thermisches Spritzen* (320ff).

Zum **Urformen aus dem span- oder faserförmigen Zustand** zählen die Herstellungsverfahren für Spanplatten, Faserplatten, Papier oder Pappe.

Beim **Urformen aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand** erfolgt in einer Form eine Abscheidung aus der Dampfphase.

Urformen aus dem flüssigen Zustand

Inhaltsübersicht

Formgebung bei metallischen Werkstoffen durch Gießen

Herstellung von Halbzeugen

Blockgießverfahren

Stranggießverfahren mit Durchlaufkokille, mit sich bewegendem Umformwerkzeugen, in Band- und Drahtgießanlagen.

Sprühkompaktieren

Gießprozess

Erstarrung

Gießbarkeit

Gussfertigung mit verlorenen Formen

Modelle

Modellwerkstoffe, Modelle nach Art der Einförmung, Gießereimodelle.

Formtechnik

Formherstellung für verlorene Formen, Kerne, Formanlagen.

Gießverfahren mit verlorenen Formen

Gießverfahren mit tongebundenen Formstoffen, mit chemisch gebundenen Formstoffen, mit physikalisch gebundenen Formstoffen; Bilder zu einigen Gießverfahren, Gussputzen, Fertigungsablauf Gießen mit verlorenen Formen (Schema).

Gussfertigung mit Dauerformen

Schwerkraftkokillengießen, Druckgießen, Schleudergießen.

CAD/CAM-Einsatz und Direkt-Crowning-Verfahren

Eigenschaften der Gusswerkstoffe

Formgebung bei metallischen Werkstoffen durch Gießen

Unter *Gießen* versteht man Verfahren, bei denen flüssige Werkstoffe in vorbereitete Hohlräume (Gießformen, Formhohlräume) gefüllt werden. Der Werkstoff erstarrt und bekommt seine endgültige Form oder die Rohform für nachfolgende Formänderungen.

Herstellung von Halbzeugen

Bei dieser Urformverfahrensgruppe geht es um die Herstellung von Vor- und Zwischenprodukten, die z. B. durch Umformen (plastische Verformung) weiterverarbeitet werden.

Blockgießverfahren

Beim Blockgießen werden in Dauerformen, das sind Kokillen aus metallischen Werkstoffen (meist Guss-eisen), u. a. Blöcke, Brammen und Drahtbarren hergestellt, die durch Umformen (Walzen, Schmieden, Pressen, Drahtziehen usw.) zu Halbzeugen (Bleche, Profile, Drähte) oder zu Rohteilen (Schmiede- oder Pressteile) weiterverarbeitet werden. Ein solches Halbzeug oder Rohteil ist in seiner Gestalt und seinen Abmessungen dem ursprünglichen Block nicht mehr ähnlich.

Man unterscheidet beim Blockgießverfahren den *Kopfguss* (fallenden Guss, **Bild 1 a**), bei dem die Kokille durch direktes Eingießen der metallischen Schmelze von oben, und den *Bodenguss* (steigenden Guss, **Bild 1 b**), bei dem eine Kokille oder mehrere Kokillen gleichzeitig (Gespannguss) über ein Verteilersystem (Eingussrohr und Kanalsteine) von unten gefüllt werden.

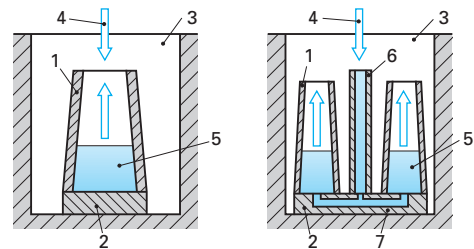


Bild 1: Blockgießverfahren.

a fallender Guss; **b** steigender Guss; 1 Blockkokille, 2 Bodenplatte, 3 Gießgrube, 4 zugeführte Schmelze, 5 Schmelze, 6 Eingussrohr, 7 Kanalsteine

Beim Blockgießverfahren werden die vorbereiteten Kokillen in der Gießgrube in der im Bild geschilderten Weise aufgebaut. Der flüssige metallische Werkstoff kommt in die Kokillen, die sich nach der Erstarrung von den Blöcken abziehen lassen. Die Blöcke werden zur Weiterverarbeitung transportiert.

Stranggießverfahren

Bei diesen Verfahren, mit denen entweder Vorprodukte für das Umformen oder Halbzeuge hergestellt werden, ist das Urformwerkzeug (Durchlaufkokille, Gießwalze, Gießband, Gießrad) stets kleiner als das durch Urformen hergestellte Produkt.