

Birgit Awiszus
Jürgen Bast
Thomas Hänel
Mario Kusch (Hrsg.)

Grundlagen der Fertigungs- technik



7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

HANSER



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

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

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Birgit Awiszus

Jürgen Bast

Thomas Hänel

Mario Kusch

Grundlagen der Fertigungstechnik

7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. Birgit Awiszus, Technische Universität Chemnitz

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Bast, Freiberg

Dr.-Ing. Thomas Hänel, Technische Universität Chemnitz

Dr.-Ing. Mario Kusch, Technische Universität Chemnitz



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor(en, Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt 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.

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes 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.

© 2020 Carl Hanser Verlag München

Internet: www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: le-tex publishing services, Leipzig

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Covergestaltung: Max Kostopoulos, unter Verwendung von Grafiken von

© istockphoto.com/PiotrWytrazek

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Druck und Bindung: Friedrich Pustet GmbH & Co. KG, Regensburg

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-45033-2

E-Book-ISBN 978-3-446-46066-9

Inhalt

Autorenverzeichnis	XV
Vorwort	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Literaturverzeichnis	4
2 Urformen	5
2.1 Einführung	5
2.1.1 Einordnung des Urformens in die Fertigungstechnik	5
2.1.2 Einordnung in den Einzelteilfertigungsprozess	6
2.1.3 Blockgießen	7
2.1.4 Stranggießen	7
2.1.5 Formgießen	8
2.1.6 Gussabnehmer	9
2.2 Verfahrensprinzipien beim Formgießen	9
2.2.1 Einleitung	9
2.2.2 Gieß- bzw. Formverfahren	10
2.2.3 Gussteilherstellung in Formen für den einmaligen Gebrauch ..	10
2.2.3.1 Einleitung	10
2.2.3.2 Handformerei	12
2.2.3.3 Maschinenformerei	14
2.2.3.4 Spezialformverfahren	15
2.2.3.5 Generative Fertigungsverfahren zur Gussteilerzeugung	21
2.2.4 Gussteilherstellung in Formen für den mehrmaligen Gebrauch (Dauerformen)	24
2.2.4.1 Einleitung	24
2.2.4.2 Schwerkraftkokillengießverfahren	25
2.2.4.3 Druckgießverfahren	26

2.2.4.4	Arten von Druckgießmaschinen	27
2.2.4.5	Verfahrensablauf beim Druckgießen	27
2.2.4.6	Thixogießverfahren	28
2.2.4.7	Niederdruckgießverfahren	29
2.2.4.8	Schleudergießverfahren	30
2.3	Gusswerkstoffe	31
2.3.1	Einführung	31
2.3.2	Kennzeichnende Kenngrößen der Gusswerkstoffe	31
2.3.2.1	Niedrige Gießtemperatur	33
2.3.2.2	Fließ- und Formfüllungsvermögen	34
2.3.2.3	Volumenänderung beim Schmelzen und Erstarren ..	35
2.3.3	Arten von Gusswerkstoffen	36
2.3.3.1	Gusseisenwerkstoffe	36
2.3.3.2	Stahlguss	37
2.3.3.3	Aluminium- und Magnesiumgusswerkstoffe	37
2.3.3.4	Kupfergusswerkstoffe	37
2.3.3.5	Mechanische Kennwerte wichtiger Gusswerkstoffe ..	38
2.4	Gussteilgestaltung	38
2.5	Literaturverzeichnis	44
3	Umformen	47
3.1	Begriffe, Ordnungsgesichtspunkte	47
3.1.1	Definitionen und Abgrenzung	47
3.1.2	Einordnungskriterien	47
3.2	Ausgewählte Grundlagen der Umformtechnik	51
3.2.1	Plastomechanische Grundlagen	51
3.2.2	Werkstoffaufbau	57
3.2.3	Kristallbaufehler	61
3.2.4	Fließkurve	63
3.3	Typische Prozesse und Verfahren der umformenden Halbzeugfertigung	69
3.3.1	Wichtige Prozessketten der Halbzeugfertigung	69
3.3.2	Ausgewählte Umformverfahren zur Halbzeugfertigung	71
3.3.2.1	Verfahrensübersicht Walzen	71
3.3.2.2	Verfahrensübersicht Freiformen	73
3.3.2.3	Verfahrensübersicht Durchdrücken - Strangpressen	76
3.3.2.4	Verfahrensübersicht Durchziehen	78
3.3.2.5	Verfahrensübersicht Biegeumformen	80

3.4	Ausgewählte Teilefertigerungsverfahren der Massivumformung	81
3.4.1	Stauchen	81
3.4.1.1	Verfahrensübersicht Stauchen	81
3.4.1.2	Bedeutung und Besonderheiten des Stauchens	83
3.4.2	Freiformschmieden und Rundkneten (Feinschmieden, Rundhämmern)	85
3.4.2.1	Verfahrensübersicht Freiformschmieden	85
3.4.2.2	Bedeutung und Besonderheiten des Freiformschmiedens	86
3.4.2.3	Verfahrensübersicht Rundkneten	87
3.4.2.4	Bedeutung und Besonderheiten des Rundknetens ...	87
3.4.3	Gesenkschmieden und Warmpressen	88
3.4.3.1	Verfahrensübersicht Gesenkschmieden und Warmpressen mit Grat	88
3.4.3.2	Verfahrensübersicht Gesenkschmieden und Warmpressen ohne Grat	90
3.4.3.3	Verfahrensübersicht zur Herstellung der Anfangsformen und Massenverteilungs- Zwischenformen für das Gesenkschmieden und Warmpressen	92
3.4.3.4	Bedeutung und Besonderheiten des Gesenkschmiedens und Warmpressens	95
3.4.4	Kaltfließpressen und Kaltschmieden	98
3.4.4.1	Verfahrensübersicht Kaltfließpressen und Kaltschmieden	99
3.4.4.2	Bedeutung und Besonderheiten des Kaltfließpressens und Kaltschmiedens	103
3.4.5	Walzverfahren der Teilefertigung	105
3.4.5.1	Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung von Werkstückgrundformen	106
3.4.5.2	Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Erzeugung von Nebenformen	112
3.4.5.3	Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Feinbearbeitung von Oberflächen	114
3.5	Ausgewählte Teilefertigerungsverfahren der Blechumformung	115
3.5.1	Verfahren zur Herstellung ebener Blechformteile durch Trennverfahren	115
3.5.1.1	Verfahrensübersicht Zerteilverfahren	116
3.5.1.2	Bedeutung und Besonderheiten des Scherschneidens	118
3.5.2	Verfahren zur Herstellung räumlicher Blechformteile	121

3.5.2.1	Verfahrensübersicht Zug-Druck-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	121
3.5.2.2	Verfahrensübersicht Druck-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	126
3.5.2.3	Verfahrensübersicht Zug-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	129
3.5.2.4	Verfahrensübersicht Biege-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	132
3.6	Literaturverzeichnis	134
4	Trennen	137
4.1	Definition und Einteilung	137
4.2	Trennen durch Spanen	138
4.2.1	Entwicklung und Bedeutung	139
4.2.2	Grundbegriffe beim Spanen	140
4.2.2.1	Kinematik und Geometrie des Spannungsvorganges ..	141
4.2.2.2	Geometrie am Schneidteil spanender Werkzeuge ...	146
4.2.3	Spanbildung	150
4.2.3.1	Vorgänge bei der Spanbildung	150
4.2.3.2	Spanarten und Spanformen	151
4.2.4	Kräfte beim Spanen	154
4.2.4.1	Bedeutung	154
4.2.4.2	Spanungskraft und Spanungskraftkomponenten ...	154
4.2.4.3	Einflussgrößen auf die Kräfte	155
4.2.5	Werkzeugverschleiß und Werkzeugstandzeit	157
4.2.5.1	Verschleißursachen und Verschleißarten	157
4.2.5.2	Verschleißformen und Messgrößen	158
4.2.5.3	Standbegriffe	159
4.2.5.4	Standzeitermittlung	160
4.2.6	Werkzeugschneidstoffe für Werkzeuge mit geometrisch bestimmter Schneide	163
4.2.7	Kühlschmierstoffe	166
4.2.8	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	168
4.2.8.1	Drehen	168
4.2.8.2	Fräsen	170
4.2.8.3	Bohren, Senken, Reiben	173
4.2.8.4	Hobeln und Stoßen	176
4.2.8.5	Räumen	178

4.2.9	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	180
4.2.9.1	Schleifen mit rotierenden Werkzeugen	180
4.2.9.2	Honen	186
4.2.9.3	Läppen	189
4.2.10	Zeit-, Kraft- und Leistungsberechnung bei ausgewählten Verfahren	191
4.2.10.1	Hauptzeitberechnung	191
4.2.10.2	Kraft- und Leistungsberechnung Drehen	193
4.2.10.3	Kraft- und Leistungsberechnung Fräsen	196
4.2.10.4	Kraft- und Leistungsberechnung Schleifen	201
4.2.11	Spezielle Entwicklungen	203
4.2.11.1	Ultraschallunterstützte Zerspanung	203
4.2.11.2	Kryogene Zerspanung	205
4.3	Trennen durch Abtragen	206
4.3.1	Funkenerosion	208
4.3.1.1	Grundlagen	209
4.3.1.2	Anlagentechnik zum funkenerosiven Schneiden	211
4.3.1.3	Anlagentechnik zum funkenerosiven Senken	213
4.3.2	Wasserstrahltechnologie	221
4.3.2.1	Verfahrensgrundlage	222
4.3.2.2	Anlagentechnik	225
4.3.2.3	Verfahrensmerkmale (Kerbtiefe, Schnittfläche, Schnittfuge)	229
4.3.2.4	Anwendungsgebiete	231
4.3.2.5	Zusammenfassung der Vor- und Nachteile des Verfahrens	231
4.3.3	Autogenes Brennschneiden	232
4.3.3.1	Verfahrensmerkmale und Anwendungshinweise	232
4.3.3.2	Anwendungsbereich - Vergleich zu anderen Trennverfahren	234
4.3.4	Laserstrahlschneiden	235
4.3.4.1	Verfahrensmerkmale und Anwendungshinweise	235
4.3.4.2	Anwendungsbereich - Vergleich zu anderen Trennverfahren	237
4.3.5	Plasmaschneiden	238
4.3.5.1	Verfahrensmerkmale und Anwendungshinweise	238
4.3.5.2	Anwendungsbereich - Vergleich zu anderen Trennverfahren	240
4.4	Literaturverzeichnis	241

5	Fügen	245
5.1	Einführung in die Fügetechnik	245
5.1.1	Einteilung der Fügeverfahren	245
5.1.2	Wirkprinzipien beim Fügen	246
5.1.3	Fügbarekeit	247
5.2	Zusammensetzen	248
5.3	Füllen	250
5.4	An- und Einpressen	251
5.4.1	Überblick	251
5.4.2	Schrauben	252
5.4.3	Fügen durch Pressverbindung	256
5.5	Fügen durch Urformen	258
5.6	Fügen durch Umformen	260
5.6.1	Überblick	260
5.6.2	Fügen durch Umformen drahtförmiger Körper	261
5.6.3	Fügen durch Umformen bei Blech-, Rohr- und Profilteilen	261
5.6.3.1	Überblick	261
5.6.3.2	Bördeln und Falzen	263
5.6.3.3	Durchsetzfügen	264
5.6.3.4	Fließblochformendes Schrauben	265
5.6.4	Fügen durch Nietverfahren	266
5.6.4.1	Überblick	266
5.6.4.2	Stanznieten	267
5.6.4.3	Nieten	269
5.6.4.4	Blindnieten	270
5.6.4.5	Schließbringnieten	271
5.7	Fügen durch Schweißen	272
5.7.1	Überblick	272
5.7.2	Pressschweißen	273
5.7.2.1	Überblick	273
5.7.2.2	Pressschweißen durch elektrische Gasentladung	274
5.7.2.3	Pressschweißen durch Bewegung von Masse	276
5.7.2.4	Pressschweißen durch elektrischen Strom	278
5.7.2.5	Diffusionsschweißen	281
5.7.3	Schmelzschweißen	282
5.7.3.1	Überblick	282
5.7.3.2	Schmelzschweißen durch Gas	283
5.7.3.3	Schmelzschweißen durch elektrische Gasentladung	284
5.7.3.4	Schmelzschweißen durch Strahlung	291

5.8	Fügen durch Löten	294
5.8.1	Überblick	294
5.8.2	Löten durch feste Körper	297
5.8.3	Löten durch Flüssigkeit	298
5.8.4	Löten durch Gas	298
5.8.5	Löten durch Strahlung	299
5.8.6	Löten durch elektrischen Strom	300
5.8.7	Ofenlöten	301
5.8.8	Löten durch elektrische Gasentladung	302
5.9	Kleben	303
5.9.1	Überblick	303
5.9.2	Kleben mit physikalisch abbindenden Klebstoffen	305
5.9.3	Kleben mit chemisch abbindenden Klebstoffen	306
5.10	Textiles Fügen	307
5.11	Literaturverzeichnis	311
6	Beschichten	313
6.1	Einführung	313
6.2	Beschichten aus dem flüssigen Zustand	315
6.2.1	Überblick	315
6.2.2	Schmelztauchen	315
6.2.3	Lackieren	316
6.2.4	Emaillieren	318
6.3	Beschichten aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	319
6.3.1	Überblick	319
6.3.2	Wirbelsintern	320
6.3.3	Elektrostatisches Beschichten	320
6.3.4	Thermisches Spritzen	321
6.4	Beschichten durch Schweißen	325
6.5	Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	327
6.5.1	Überblick	327
6.5.2	PVD-Verfahren	328
6.5.3	CVD-Verfahren	330
6.6	Beschichten aus dem ionisierten Zustand	330
6.6.1	Überblick	330
6.6.2	Galvanisches Beschichten	331
6.6.3	Chemisches Beschichten	332
6.7	Literaturverzeichnis	333

7	Stoffeigenschaftsändern durch Wärmebehandeln	335
7.1	Definitionen, Ziele, metallkundliche Effekte und Abgrenzung	335
7.2	Wärmebehandlungsprozesse für Stähle	340
7.2.1	Thermische Verfahren	340
7.2.1.1	Prozessgrundlagen	340
7.2.1.2	Charakterisierung wesentlicher Verfahren	345
7.2.2	Thermochemische Verfahren	351
7.2.2.1	Prozessgrundlagen	351
7.2.2.2	Charakterisierung wesentlicher Verfahren	353
7.2.3	Thermomechanische Verfahren	358
7.2.3.1	Prozessgrundlagen	358
7.2.3.2	Charakterisierung wesentlicher Verfahren	360
7.3	Fertigungstechnische Realisierung	362
7.4	Stellung der Wärmebehandlung im Fertigungsprozess	365
7.5	Literaturverzeichnis	368
8	Generative Fertigungsverfahren	371
8.1	Prototypen in der Produktentwicklung	371
8.2	Das Grundprinzip generativer Fertigungsverfahren	372
8.3	Die informationstechnische Prozesskette	374
8.3.1	3D-CAD-Modellierung	374
8.3.2	STL-Schnittstelle	375
8.3.3	Datenaufbereitung	376
8.3.4	Bauprozess	377
8.3.5	Finish-Bearbeitung und Folgeverfahren	378
8.4	Industrielle generative Fertigungsverfahren	379
8.4.1	Polymerisation	379
8.4.2	Schmelzen und Verfestigen von Pulvern	382
8.4.3	Ausschneiden und Fügen von Folien	385
8.4.4	Schmelzen und Verfestigen aus der festen Phase	387
8.4.5	Verkleben von Pulvern mit Bindersystemen	389
8.5	Folgetechnologien und Rapid Tooling	391
8.5.1	Zielwerkstoff Kunststoff	391
8.5.2	Zielwerkstoff Metall	393
8.6	Literaturverzeichnis	394

9	Leitlinie zur Gestaltung von Fertigungsprozessen	395
9.1	Einführung	395
9.1.1	Aufgaben und Ziele der Fertigungsprozessgestaltung	395
9.1.2	Einflussgrößen auf den Planungsaufwand	397
9.2	Grundlagen und Begriffe	399
9.2.1	Gliederung der Fertigungsprozesse nach Prozesselementen	399
9.2.2	Gliederung der Fertigung nach der Mengenstruktur	401
9.2.3	Gliederung der Fertigung nach der Organisationsstruktur	402
9.3	Ausarbeiten von Fertigungsprozessen der Teilefertigung	405
9.3.1	Vorbetrachtungen	405
9.3.2	Prüfen der konstruktiven/funktionellen Anforderungen	405
9.3.3	Funktionale Flächen am Einzelteil	406
9.3.4	Bestimmflächen	410
9.3.5	Auswahl der Arbeitsweise	411
9.3.6	Generierendes Ausarbeiten des Fertigungsprozesses	412
9.3.6.1	Ermittlung der technischen Elemente (Bearbeitungselemente) und des Rohteiles	413
9.3.6.2	Prozessgrobentwurf	414
9.3.6.3	Prozessfeinentwurf	416
9.4	Vergleich technologischer Varianten	423
9.4.1	Entscheidungskriterien	423
9.4.2	Methoden zur Berechnung vergleichbarer Kosten	424
9.4.2.1	Kostenschema	424
9.4.2.2	Berechnung der direkt zurechenbaren technologischen Einzelkosten	426
9.4.2.3	Zuschlagskalkulation	428
9.4.2.4	Stundenkostenkalkulation	432
	Stichwortverzeichnis	439

Autorenverzeichnis

■ Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. Birgit Awiszus, Technische Universität Chemnitz

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Bast, Freiberg

Dr.-Ing. Thomas Hänel, Technische Universität Chemnitz

Dr.-Ing. Mario Kusch, Technische Universität Chemnitz

■ Autoren

Kapitel 1

Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. Birgit Awiszus, Technische Universität Chemnitz

Kapitel 2

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Bast, Freiberg

Dr.-Ing. Marcel Graf, Technische Universität Chemnitz

Kapitel 3

Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. B. Awiszus, Technische Universität Chemnitz

Dr.-Ing. Marcel Graf, Technische Universität Chemnitz

Dr.-Ing. Sebastian Härtel, Technische Universität Chemnitz

Kapitel 4

Dr.-Ing. Jan Glühmann, Westsächsische Hochschule Zwickau

Dr.-Ing. Thomas Hänel, Technische Universität Chemnitz

Dipl.-Ing. Holger Letsch, Technische Universität Chemnitz

Dr. rer. nat. Rolf Pilz, Chemnitz

Prof. Dr. sc. techn. Michael Schneeweiß, Westsächsische Hochschule Zwickau

Kapitel 5

Dr.-Ing. Mario Kusch, Technische Universität Chemnitz

Kapitel 6

Dr.-Ing. Mario Kusch, Technische Universität Chemnitz

Kapitel 7

Dipl.-Ing. Ulrich Thieme, Chemnitz

Kapitel 8

Dr.-Ing. Thomas Hänel, Technische Universität Chemnitz

Dr.-Ing. Frank Rommel, Chemnitz

Kapitel 9

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Göpfert, Fachhochschule Vorarlberg (Dornbirn)

Dr.-Ing. Thomas Hänel, Technische Universität Chemnitz

Vorwort

Dieses Buch entstand aus der Vorlesungsreihe „Fertigungslehre“ an der Technischen Universität Chemnitz sowie der Vorlesungsreihe „Grundlagen der Fertigungstechnik“ an der Westsächsischen Hochschule Zwickau. Die Ihnen vorliegende nunmehr 7. Auflage des Fachbuches „Grundlagen der Fertigungstechnik“ wurde vom Autorenteam vollständig inhaltlich und grafisch überarbeitet.

Hauptanliegen der Herausgeber ist es, den Studentinnen und Studenten in technisch geprägten Bachelor- und Diplomstudiengängen, wie z. B. in den Fachrichtungen Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen sowie integralen Studiengängen solides Basiswissen der Teilefertigung in der Einheit von Theorie der Fertigungsverfahren und Fertigungsprozessgestaltung zu vermitteln.

Das Lehrbuch behandelt die wesentlichen Grundlagen der Verfahrenshauptklassen nach DIN 8580, d. h. Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaftsändern (Wärmebehandeln), wird ergänzt um die generativen Fertigungsverfahren (3D-Druck-Verfahren) und schließt mit einem Leitfaden zur Fertigungsprozessgestaltung. Die Behandlung aller Verfahrensmodifikationen ist nicht Gegenstand dieses Lehrbuches.

Die Autoren haben sich bemüht, sich auf solche Wissensfelder zu beschränken, die bei der ständigen Weiterentwicklung der Fertigungsverfahren und Fertigungsmethoden als wissenschaftliche Grundlage längerfristig Bestand haben.

Die Autoren danken besonders Frau *Ute Eckardt*, Frau *Christina Kubiak* und Herrn *Frank Katzenmayer* vom Carl Hanser Verlag für das Vertrauen in das Fachbuch, die Anregungen und kooperative Zusammenarbeit.

Birgit Awiszus

Jürgen Bast

Thomas Hänel

Mario Kusch

1

Einleitung

Die Fertigungslehre vermittelt die theoretischen Grundlagen zur Fertigungstechnik und zur Gestaltung von Fertigungsprozessen der Teilefertigung. Die Fertigungstechnik bezeichnet die Gesamtheit aller Fertigungsverfahren und Fertigungsmittel zur Herstellung geometrisch bestimmter, fester Körper und beinhaltet vor allem die materiell-technischen Elemente eines Fertigungsprozesses. Dieser spiegelt die Gesamtheit aller auf einen Arbeitsgegenstand (Einzelteil) bezogenen und aufeinander folgenden Arbeitsgänge zur schrittweisen Überführung von einem Anfangs- in einen Endzustand wider. Wesentliche Elemente sind dabei die

- Fertigungsverfahren,
- Fertigungseinrichtungen,
- Fertigungsmittel und
- Fertigungsstoffe.

Dabei schließen die Fertigungsverfahren die technische Anwendung naturwissenschaftlicher Effekte sowie Wirkprinzipien zur Teilefertigung ein, während die Fertigungsmittel wie beispielsweise Maschinen, Vorrichtungen, Werkzeuge, Prüfmittel u. a. zur Änderung von Form, Substanz oder Gefügeausbildung eines Bauteils erforderlich sind.

Aufgrund der Vielzahl bekannter und zukünftiger Fertigungsverfahren erfolgt die Einordnung der einzelnen Verfahrensbereiche in ein überschaubares und konsistentes System. Verbindliche Festlegungen zur systematischen Einteilung der Fertigungsverfahren sind mit der Norm DIN 8580 [1.1] gegeben, deren Ordnungsprinzipien in Bild 1.1 Systematik der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 dargestellt sind.

		Fertigungshauptgruppen					
		1. Urformen	2. Umformen	3. Trennen	4. Fügen	5. Beschichten	6. Stoffeigenschaftändern
Systematisierungs- gesichtspunkte	Zusammenhalt	schaffen	beibehalten	vermindern	vermehrten	vermehrten	vermehrten
							vermindern
							beibehalten
	Form	schaffen	ändern	ändern	ändern	beibehalten	beibehalten
	Stoffteilchen					einbringen	einbringen
							aussondern
					umlagern		

Bild 1.1 Systematik der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Für die Auslegung von Fertigungsprozessen ist es notwendig, die wirtschaftliche Herstellung oder Veränderung eines durch den Konstrukteur vorgegebenen Einzelteils vorzubereiten. Dazu gehören u. a. die

- Analyse der Werkstoffbearbeitung und -verarbeitung,
- Anwendung und Entwicklung von Fertigungsverfahren,
- Verfahrens- und Werkstoffsubstitution,
- Einflussnahme auf die fertigungsgerechte Konstruktion von Einzelteilen und Baugruppen,
- Einflussnahme auf die optimale Wahl und Gestaltung von Fertigungsmitteln sowie Werkzeugen und
- Vorausbestimmung der notwendigen Kennwerte für den wirtschaftlich technologischen Prozess.

Ausgehend vom Fertigungsziel, Teile mit dem geforderten Gebrauchswert, einer möglichst geringen Anzahl von Prozessstufen und mit minimalem Aufwand an Zeit und Kosten herzustellen, werden in diesem Buch die wichtigsten industriellen Verfahren theoretisch und in ihrer Anwendung dargestellt.

Schwerpunkt der sich anschließenden Kapitel ist die Vermittlung des Basiswissens zur Herstellung geometrisch bestimmter fester Körper aus verschiedenartigen Werkstoffen und mit unterschiedlicher Qualität. Dazu zeigt Bild 1.2 Mögliche Fertigungsverfahren zur Herstellung einer Kurbelwelle die Vielfalt der Herstellungsmöglichkeiten eines Bauteils am Beispiel einer Pkw-Kurbelwelle, die sich in den jeweiligen Kapiteln zu den Fertigungshauptgruppen nach DIN 8580 wiederfinden. Dabei werden auch neuere Entwicklungen und Tendenzen in der Fertigungstechnik behandelt, wie z. B. die generativen Fertigungsverfahren.

Das Lehrbuch schließt mit einem Leitfaden zur Gestaltung von Fertigungsprozessen ab, in dem Grundlagen und Methoden der Arbeitsplanung beschrieben werden.

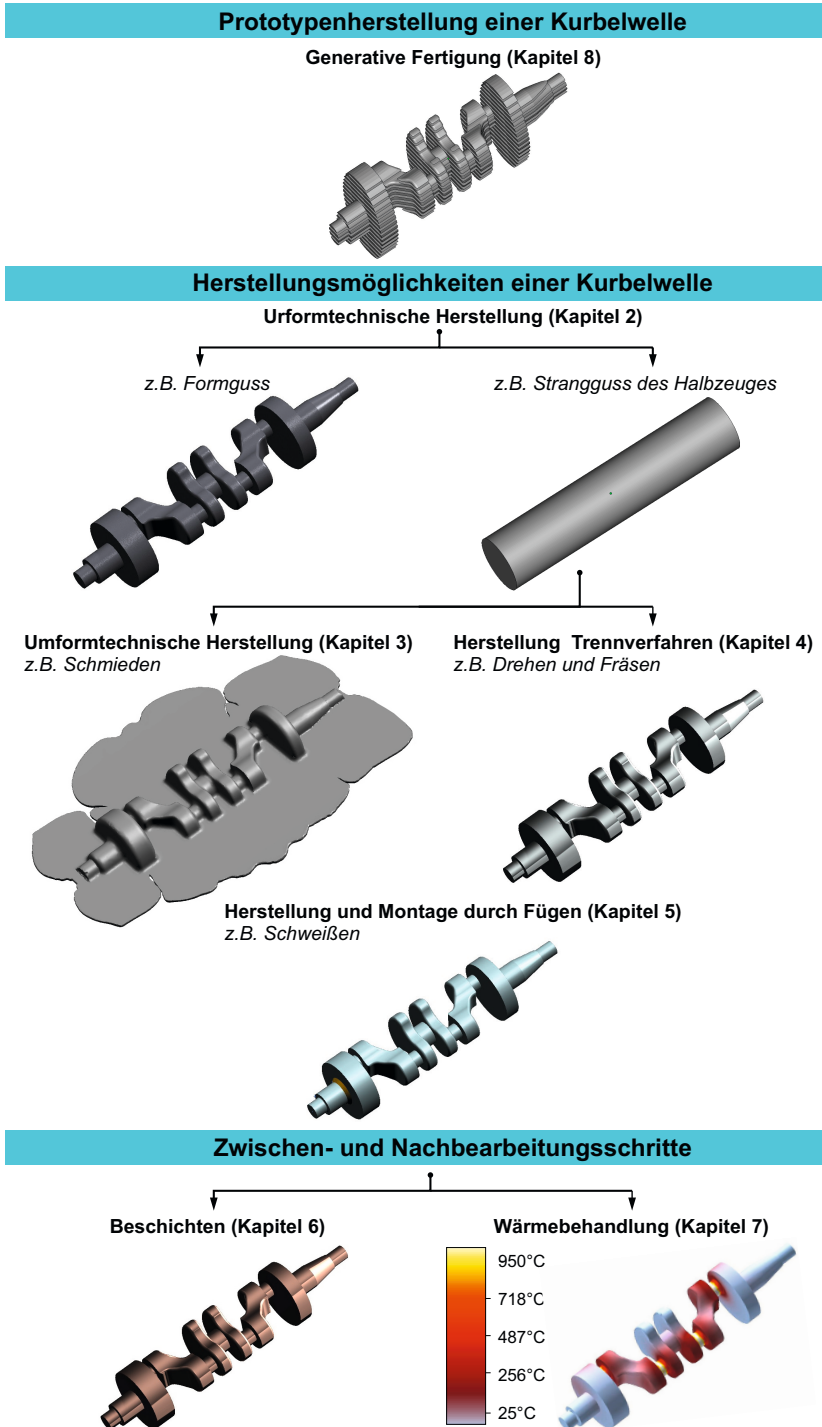


Bild 1.2 Mögliche Fertigungsverfahren zur Herstellung einer Kurbelwelle

■ 1.1 Literaturverzeichnis

[1.1] DIN 8580 (2003-09): Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung. Berlin: Beuth Verlag.

2

Urformen

■ 2.1 Einführung

2.1.1 Einordnung des Urformens in die Fertigungstechnik

In Übereinstimmung mit der DIN 8580 und dem Schema der Fertigungsverfahren (Bild 1.1) wird das Urformen als eines der sechs möglichen Fertigungsverfahren zur Erzeugung von Bauteilen eingeordnet. Unter diesen kann der Bauteilentwickler auswählen, wobei ein Vergleich zwischen den Verfahren Umformen, Trennen, Fügen und den neuartigen generativen Fertigungsverfahren anzustellen ist.



Urformen ist das Fertigen eines festen Körpers aus einem formlosen Stoff durch Schaffen des Zusammenhalts. Hierbei treten die Stoffeigenschaften des Werkstoffes bestimmbar in Erscheinung. Als formloser Stoff werden Gase, Flüssigkeiten, Pulver, Fasern, Späne und Granulat verwendet.

Um den festen Zusammenhalt zu schaffen, sind in Abhängigkeit vom formlosen Stoff beispielhaft folgende Verfahren im Einsatz:

- aus dem flüssigen Zustand → **Gießen**,
- aus dem plastischen oder teigigen Zustand → **Extrahieren**,
- aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand → **Sintern**,
- aus dem ionisierten Zustand → **Galvanoplastik**.

Die meisten urgeformten Bauteile werden aus dem flüssigen Zustand heraus erzeugt. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Buch auch nur dieses Verfahren vorgestellt [2.1 – 2.3].

2.1.2 Einordnung in den Einzelteilfertigungsprozess

Im technologischen Prozess der Einzelteilfertigung stellt das Urformen (Gießen) die Ausgangsstufe aller metallischen Einzelteile dar. Dabei lässt sich das in Bild 2.1 gezeigte Schema aufstellen.

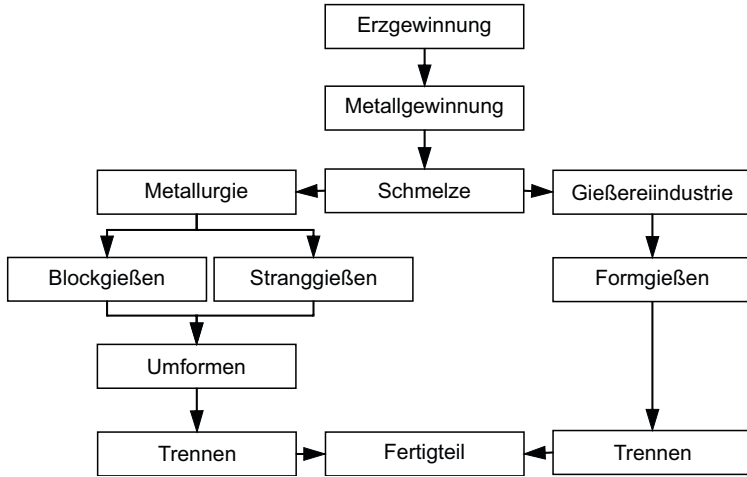


Bild 2.1 Urformen im technologischen Prozess der Fertigteilfertigung

Unter Berücksichtigung der Hauptgruppen der Fertigungsverfahren ergibt sich der Prozessablauf wie in Bild 2.2. Dabei unterscheidet man im Wesentlichen zwei Prozessvarianten. In Abhängigkeit von der Vergießart der Schmelze führen diese Prozessvarianten zu unterschiedlichen nachfolgenden Vorgängen, um aus dem Urformprodukt ein Fertigteil herzustellen.

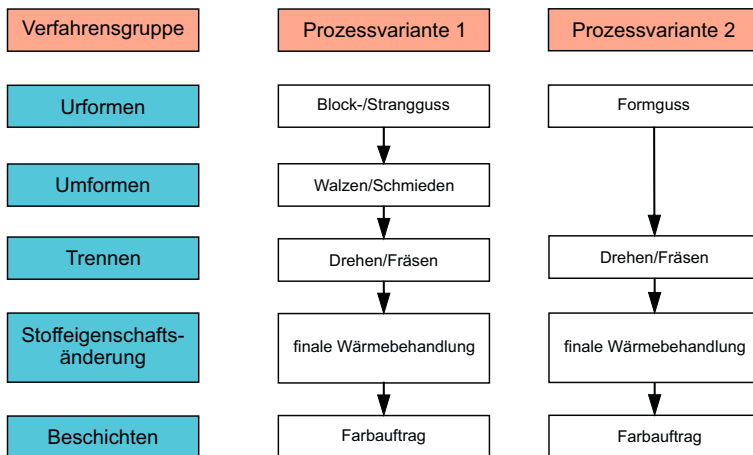


Bild 2.2 Prozessabläufe zur Herstellung von Fertigteilen (stark vereinfacht)

2.1.3 Blockgießen

Beim Blockgießen wird das flüssige Metall (insbesondere Stahl) in metallische Dauerformen, sogenannte Kokillen, gegossen (Bild 2.3). Durch Wärmeabfuhr erstarrt die Schmelze und es entstehen Blöcke oder Brammen, die Halbzeuge darstellen und durch andere Hauptgruppenverfahren weiter verarbeitet werden müssen.

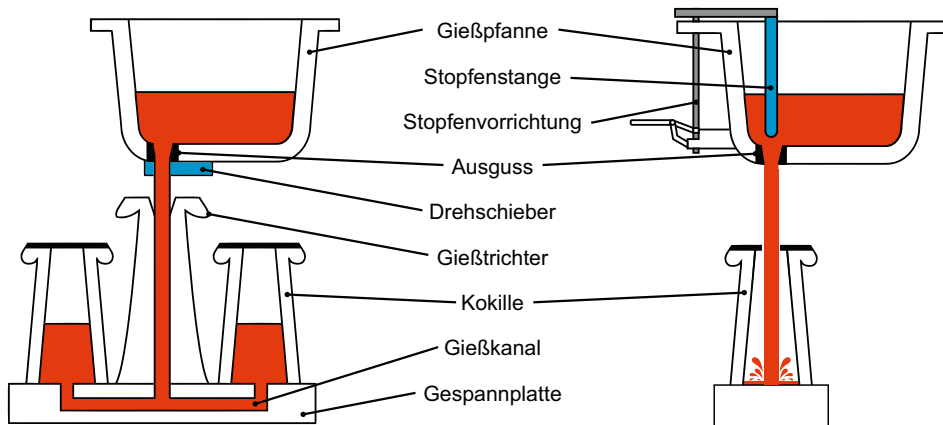


Bild 2.3 Steigender Blockguss mit bis zu acht Kokillen (links) und fallender Guss (rechts)

2.1.4 Stranggießen

Aufgrund der aufwendigen Vorbereitung der Blockgießkokillen, ihrer Einschränkung in den Abmessungen und des hohen Anteiles an erforderlichlichem Speisematerial zur Kompensation der Lunkererscheinungen wurde das Stranggießverfahren entwickelt. Bei diesem Verfahren wird das flüssige Metall in eine beidseitig offene (nur zu Beginn des Prozesses) am Boden verschlossene, wassergekühlte Kokille (Kristallisator) aus Kupfer gegossen. Der zu Prozessbeginn die Kokille verschließende, sogenannte Anfahrblock gewährleistet das Füllen der Kokille mit dem flüssigen Metall (Bild 2.4).

Durch die Wärmeabfuhr erstarrt die Schmelze vom Rand und Boden her, sodass beim anschließenden Absenken des Anfahrblocks ein Strang aus der Kokille gezogen werden kann, der im Inneren noch flüssiges Metall enthält. Durch ein kontinuierliches Nachgießen der Schmelze in die Kopfseite der Kokille und dem darauf abgestimmten Absenken entsteht ein endloser Strang [2.4, 2.5].

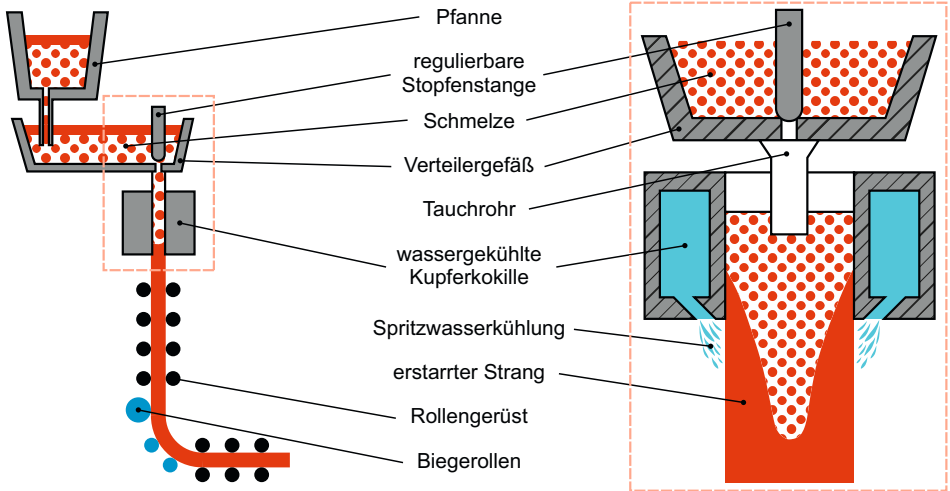


Bild 2.4 Anfahrblock und Stranggießanlage

Zur Unterstützung des Abkühlprozesses wird der abgezogene Strang in einer Sekundärkühlzone mit Kühlwasser besprüht. In Übereinstimmung mit der zu fertigenden Länge wird der Strang auf das entsprechende Maß zerteilt. Unter der Voraussetzung einer akzeptablen Strangoberfläche kann der Strang nach dem Durchlaufen eines Ofens direkt in das Walzwerk eingeleitet werden, sodass ein vollständig kontinuierlicher Prozess bis zur Erzeugung eines Vorproduktes für ein Einzelteil entsteht. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der Verminderung der Gießmetallverluste, im höheren Ausbringen, in der höheren Produktivität und in der besseren Anpassung der nachgeschalteten Verarbeitungsprozesse (Umformen). Der Hauptanteil des geschmolzenen Stahls wird mit diesem Verfahren verarbeitet.

2.1.5 Formgießen

Die zweite Prozessvariante, um zu einem Fertigteil zu gelangen, stellt das sogenannte Formgießen dar, mit dessen Hilfe die meisten Gussteile gefertigt werden. Bei dieser Prozessvariante wird das flüssige Metall in Formen gegossen, in denen das herzustellende Gebilde als Hohlraum eingearbeitet ist. Die Formen können dabei aus nichtmetallischen (überwiegend Quarzsand) oder aus metallischen (überwiegend Eisenlegierungen) Werkstoffen bestehen [2.6].

Nach dem Erstarren des flüssigen Metalls wird bei den nichtmetallischen Werkstoffen die Form zerstört und das Gussteil entnommen, während bei den metallischen Formen deren Öffnen die Entnahme des Gussteils ermöglicht. Beim Formgießen strebt man eine weitgehende Annäherung an das Fertigteil an, was zur Entwicklung endabmessungsnaher Gießverfahren geführt hat.

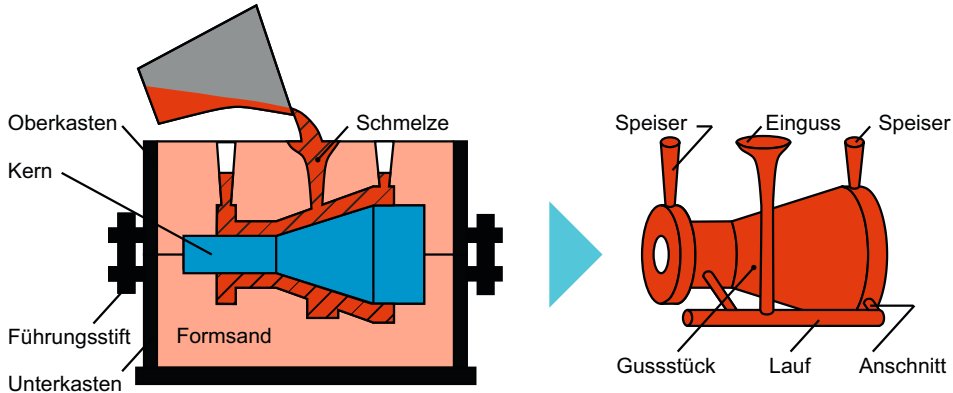


Bild 2.5 Gießform mit Kern und abgossenes Gussteil mit Anschnitt- und Gießsystem

In Bild 2.5 sind eine Gießform aus nichtmetallischen Werkstoffen und das in ihr erzeugte Gussteil mit dem zum Füllen der Form notwendigen Gießsystem und den sogenannten Speisern dargestellt.

2.1.6 Gussabnehmer

Die wichtigsten Abnehmer von Gussteilen sind: Fahrzeugbau, Maschinenbau, Bauindustrie, Medizin, Schiffbau, Schienenverkehr, Energietechnik sowie Luft- und Raumfahrt und die Kunst. Der Hauptabnehmer ist die Kraftfahrzeugindustrie mit 40% Eisenguss und 80% Aluminiumguss. In einem Pkw sind mehr als 100 Gussteile eingebaut. Die Mehrzahl der technischen Gebilde ist ohne Gussteile undenkbar. Die Masse der Gussteile kann in einem Bereich von 1 Gramm bis 250 Tonnen variieren. Mithilfe des Formgießens werden in den Gießereien Gussteile aus den unterschiedlichsten Werkstoffgruppen hergestellt.

2.2 Verfahrensprinzipien beim Formgießen

2.2.1 Einleitung



Im Allgemeinen sind die Urformverfahren durch folgende technologische Fertigungsschritte gekennzeichnet: Bereitstellung des formlosen Werkstoffs als Ausgangsmaterial, Erzeugung des urformfähigen (flüssigen) Werkstoffzustandes, Füllen des Urformwerkzeugs mit dem urformfähigen Werkstoff, Übergang des Werkstoffes in den festen Zustand im Urformwerkzeug, Entnahme des geformten Erzeugnisses aus dem Urformwerkzeug.

Die Umsetzung dieser Fertigungsschritte beim Gießen verdeutlicht Bild 2.6.

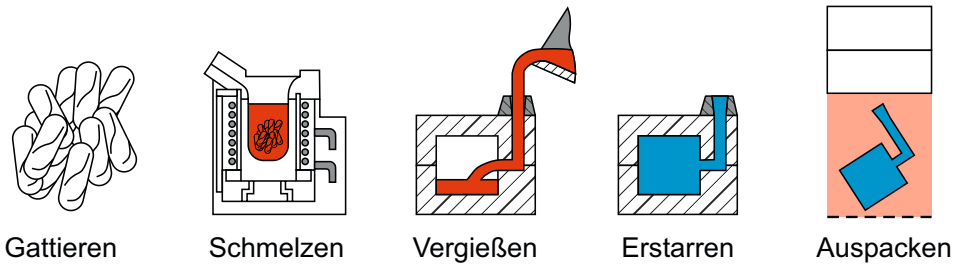


Bild 2.6 Fertigungsschritte des Urformverfahrens „Gießen“

2.2.2 Gieß- bzw. Formverfahren

Die das Fertigungsverfahren „Urformen-Gießen“ kennzeichnenden Grundprozesse werden in Abhängigkeit vom jeweils konkreten Fertigungsprozess durch zusätzliche Operationen erweitert, wobei in Übereinstimmung mit den „Geburtsvorgängen“ des Gussteils (Vergießen und Erstarren in der Form) die unterschiedlichsten Gussteilherstellungsverfahren entwickelt worden sind. Diese werden in Abhängigkeit davon, ob die Formherstellung oder der Gießvorgang bei der Erzeugung des Gussteils die dominierende Rolle spielen, im allgemeinen Sprachgebrauch im ersten Falle als Formverfahren und im zweiten Falle als Gießverfahren bezeichnet. Hinsichtlich der Verwendung der Form lässt sich das Fertigungsverfahren Gießen wie folgt unterteilen (Bild 2.7) [2.7].

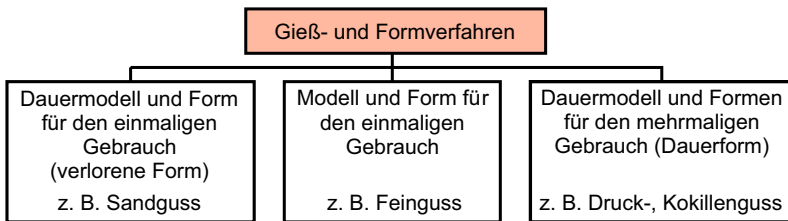


Bild 2.7 Einteilung der Gieß- bzw. Formverfahren

2.2.3 Gussteilherstellung in Formen für den einmaligen Gebrauch

2.2.3.1 Einleitung

Der gesamte Zyklus der Gusserzeugung in Formen für den einmaligen Gebrauch besteht aus einer Reihe von Haupt- und Hilfsoperationen, die sowohl parallel als auch nacheinander folgend in den unterschiedlichen Abteilungen einer Gießerei durchgeführt werden [2.8, 2.9].

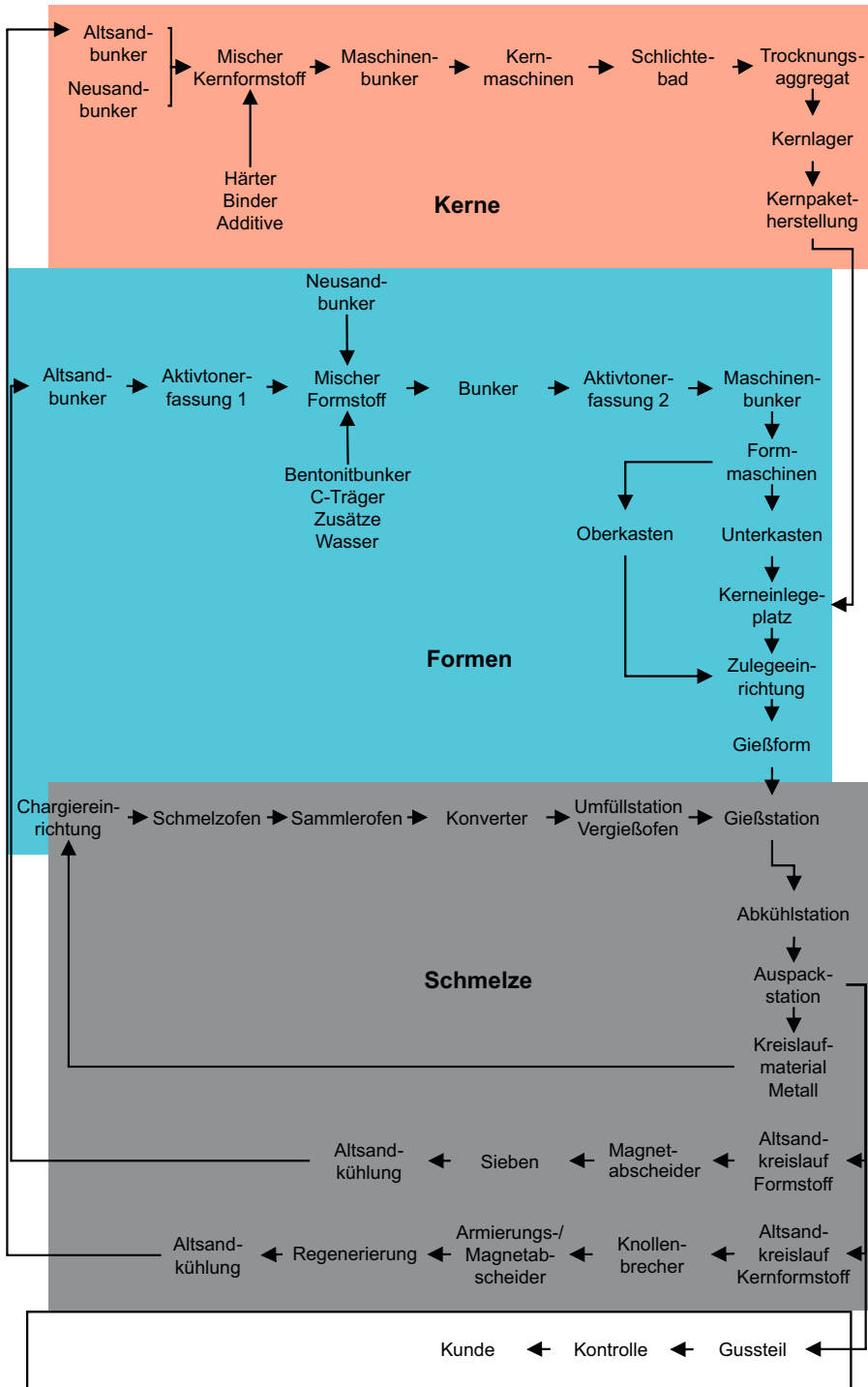


Bild 2.8 Fertigungsabteilungen und Fertigungsschritte beim Gießen mit Formen für den einmaligen Gebrauch [2.10]