



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für metalltechnische Berufe

Roller

Buck Berndt Dahlmann Leineweber Ludwig Dr. Appelt Pröm Rödter
Schlotterbeck Wintgens

Fachkunde Gießereitechnik

Technologie des Formens und Gießens

9., überarbeitete und erweiterte Auflage

Verlag Europa-Lehrmittel · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorfer Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 1793X

Autoren:

Roller, Rolf	Dipl.-Ing.(FH), Oberstudienrat	Heidenheim
Berndt, Kerstin	Techniker, Produktmanager Nicht-Eisen-Schmelzebehandlung Vesuvius GmbH	Borken
Buck, Volkmar	Dipl.-Ing.(FH), Oberstudienrat	Heidenheim
Dahlmann, Martin	Dipl.-Ing., Produktmanager Maskenformverfahren und Spezialsande Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH	
Leineweber, Laura	M.Sc.,Technische Leitung MAGMAacademy, MAGMA Gießereitechnologie GmbH	Aachen
Ludwig, Johann	Dipl.-Ing., Oberstudienrat	Stuttgart
Appelt, Christian	Dr., ASK Chemicals GmbH, Produktmanagement Anorganische Bindemittel	Hilden
Pröm, Manfred	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Stuttgart
Rödter, Hans	Dipl.-Ing., Gießereiberatungsingenieur	Heidenheim
Schlotterbeck, Martin	Leiter Schulung Oskar Frech GmbH + Co. KG	Schorndorf
Wintgens, Rudolf	Dipl.-Ing., Gießereikunde	Schopfheim

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:
Rolf Roller

Bildentwürfe: Autoren

Fotos: siehe Bild- und Textquellenverzeichnis Kapitel 9.2

Illustrationen: Grafische Produktionen Neumann, 97222 Rimpar

Betreuung der Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

9. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-1179-0

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

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Umschlag: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlagfotos: Laempe Mössner Sinto GmbH, Schopfheim, und SHW Casting Technologies GmbH & Co. KG, Aalen

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort zur 9. Auflage der Fachkunde für gießereitechnische Berufe

Das vorliegende Standardwerk für die Gießerei ist seit 36 Jahren in Ausbildung und Praxis eingeführt.

Wie bereits bei vorangegangenen Auflagen dient das Fachbuch nicht nur für die Ausbildung der Gießereimechaniker und Former, sondern wird auch in Meister- und Technikerschulen, zum Einstieg in spezielle Studiengänge sowie in der Praxis benutzt.

Für die Neubearbeitung waren wiederum der Stoffplan der Berufsschulen und der Ausbildungsplan der Betriebe maßgebend. Auch durch die weitgehende Verwendung des Buches in Industrie und Studium musste die sich rasch verändernde Technik berücksichtigt werden.

So wurde die 9. Auflage komplett überarbeitet und u.a. die Themen Gießprozesssimulation, Druckgießverfahren, Anorganische Formstoffbindemittel und Schmelzebehandlung neu verfasst. Neu sind auch die QR-Codes in den Kapiteln Druckguss, Gießereiprozesssimulation und Additive Fertigungsverfahren und ein kleines Kapitel mit dem Thema Industrie 4.0 hält Einzug in die Gießerei.

Erfreulicherweise waren hierzu wieder maßgebende Unternehmen bereit, an der Überarbeitung mitzuwirken. Ihnen gilt der besondere Dank des Verlages Europa-Lehrmittel. Zahlreiche Beiträge, Fotos und die Durchsicht von Kapiteln ermöglichten es, das Buch auf den neuesten Stand zu bringen. Die daran beteiligten Unternehmen sind im Kapitel 9.2 aufgeführt.

Die Technische Kommunikation ist in die entsprechenden Kapitel der Technologie aus methodischen Gründen fächerverbindend integriert.

Die Regeln für die gießereitechnischen Zeichnungen entsprechen dem VDG-Merkblatt M 150.

Der Inhalt des Buches, der über die Stoffpläne der Schulen hinausgeht, hat aus finanziellen Gründen seine Begrenzung. Trotzdem sind wir für Anregungen bezüglich der nächsten Auflage dankbar.

Die Neuausgabe in dieser Ausstattung ist für einen Beruf mit relativ geringen Ausbildungszahlen ein wirtschaftliches Problem. Durch die Unterstützung einiger maßgebender Unternehmen konnte jedoch erreicht werden, dass auch weiterhin ein Fachbuch für diese Branche zur Verfügung steht. Diese Sponsoren stellen im Kapitel 9.1 ihre Unternehmen und Produkte vor.

Formtechnik mit Technischer Kommunikation

8...146

1

Gießverfahren

147...196

2

Einguss- und Speisertechnik

197...217

3

Schmelztechnik und Schmelzöfen

218...237

4

Putztechnik

238...243

5

Formstofftechnik

244...268

6

Werkstoffkunde

269...325

7

Ergänzende Grundlagen und Techniken

326...412

8

Sponsoren

413...441

9

Geleitwort

Die Anforderungen an die technischen Mitarbeiter in der Gießereibranche wachsen und verändern sich stetig. Hinzu kommt, dass eine hohe Flexibilität und ein kontinuierliches Erlernen neuer Fähigkeiten immer mehr erforderlich sind. Die praktische Ausbildung in den Betrieben und der fachnahe Unterricht an einer Berufsschule schaffen eine sehr gute Basis für den Start ins Berufsleben. Diese Ausbildung ist ein weltweit anerkanntes Erfolgsmodell! Auch das Angebot für eine kontinuierliche Weiterbildung ist umfangreich und wird durch eine zunehmende Mechanisierung und Automatisierung sowie die Anwendung computergestützter Technologien getrieben.

Gießereibetriebe haben sich dem Strukturwandel in der Vergangenheit immer erfolgreich gestellt. Insbesondere der solide fachliche Grundstock der Mitarbeiter und ihr ständiges eigenes Dazulernen schaffen wichtige Voraussetzungen für das Bewältigen neuer Aufgaben. Die Zukunftsperspektiven der deutschen Gießerei-Industrie – die weltweit die produktivste ist – bieten eine Arbeitsumgebung, in der man Erfüllung und persönliche Bestätigung finden kann.

In der vorliegenden 9. Auflage wurde die Entwicklung der Gießereitechnik konsequent berücksichtigt und eine komplette Überarbeitung vorgenommen. Auch Experten aus der Zuliefererindustrie haben bezüglich heute verfügbarer Anlagentechnik, Hilfs- und Betriebsstoffe und auch der Computersimulation die Aktualisierung der neuen Ausgabe unterstützt. Das vorliegende klar strukturierte Lehrbuch ist über die Ausbildung hinaus ein nützlicher Begleiter der Gießereifachfrau und des Gießereifachmannes. Dem Lektor und den Autoren ist es gelungen, mit dem Lehrbuch „Fachkunde Gießereitechnik“ umfassende Fachkenntnisse praxisnah und graphisch anschaulich aufbereitet darzustellen.

Wir danken dem Lektor, den Autoren und dem Verlag für dieses gelungene Ausbildungs- und Nachschlagewerk und wünschen allen Auszubildenden Erfolg und Freude in unserem schönen Gießereiberuf.

Düsseldorf, im Herbst 2021

Verein Deutscher Gießereifachleute e.V.
Dr.-Ing. Erwin Flender
Hauptgeschäftsführer

1 Formtechnik mit Technischer Kommunikation

1.1	Geschichtliche Entwicklung des Formens und Gießens	8	1.3.4.2	Formanlagen	71
1.2	Grundlagen der Formtechnik	11	1.3.4.3	Modellplatten	77
1.2.1	Werdegang eines Gussteils	11	1.4	Formen mit Kernen (Technologie und Technische Kommunikation)	86
1.2.2	Formherstellung	13	1.4.1	Kernarten	86
1.2.3	Gießereimodelle – Arten	14	1.4.2	Kernlagerung	94
1.2.4	Farbkennzeichnung der Modelle	15	1.4.3	Kernmarkenarten	97
1.2.5	Modellzugaben	16	1.4.4	Kernsicherungen	101
1.2.6	Form- und Modellteilung	20	1.4.5	Kernherstellung	109
1.2.7	Grundlagen der Gießereitechnischen Kommunikation	22	1.4.6	Kernformwerkzeuge (Kernkästen)	123
1.3	Formtechnik für verlorene Formen	30	1.5	Europäische Normen und VDG-Merkblätter im Modellbau	137
1.3.1	Formtechnik für verlorene Formen mit Dauermodell	31	1.5.1	Übersicht über die neuen Europäischen Normen	137
1.3.1.1	Handformen	31	1.5.2	Systematik der Werkstoff-Güteklassen	137
1.3.1.2	Modelle für das Handformen	35	1.5.3	VDG-Merkblätter	138
1.3.2	Herstellung von verlorenen Formen mit verlorenem Modell	42	1.5.4	Übersicht über die DIN EN 12890	138
1.3.2.1	Formverfahren mit Schaumstoffmodellen	42	1.5.5	Neue Inhalte der DIN EN 12890 gegenüber der DIN 1511 – allgemein	139
1.3.2.2	Feingießverfahren	51	1.5.6	Neue Inhalte der DIN EN 12890 gegenüber der DIN 1511 – güteklassenabhängig	140
1.3.3	Sonderverfahren	56	1.5.7	Güteklassen von Kernkästen	140
1.3.3.1	Vakuumformverfahren unter Verwendung einer Folie	56	1.5.8	Güterkmale nach DIN EN 12890	141
1.3.3.2	Direkte Herstellung von Formen und Kernen	59	1.5.9	DIN EN 12892 Formwerkzeuge für verlorene Modelle für das Vollformverfahren	145
1.3.3.3	Verfahren mit aushärtenden Formstoffen	60	1.5.10	DIN EN 12883 Wachsspritzformen für verlorene Modelle für das Feingießen	146
1.3.4	Maschinenformen	63			
1.3.4.1	Grundlagen	63			

2 Gießverfahren

2.1	Übersicht	147	2.3.2	Aufbau von Druckgießmaschinen	169
2.1.1	Gießarten	147	2.3.3	Weg der Schmelze in die Form	172
2.1.2	Gießen in Dauerformen	149	2.3.4	Übersicht der Gießphasen	173
2.1.3	Gießeigenschaften der Metallschmelzen	150	2.3.5	Der Gießzyklus einer Druckgießmaschine	175
2.2	Kokillengießen	152	2.3.6	Die Druckgießform (Dauerform)	176
2.2.1	Verfahren	152	2.3.7	Berechnungen, Formeln und Begriffserklärung	181
2.2.2	Kokillengießmaschinen und Kokillengießanlagen	153	2.3.8	Die Temperierung	183
2.2.3	Niederdruckkokillengießen	155	2.3.9	Trenn- und Schmierstoffe beim Druckgießen	188
2.2.4	Aufbau der Gießwerkzeuge	157	2.3.10	Die häufigsten Gießfehler	190
2.2.5	Anschnittgestaltung	159	2.3.11	Die automatisierte Gießzelle nach CE	191
2.2.6	Wärmefluss	160	2.3.12	Sonderdruckgießverfahren	192
2.2.7	Kokillenschichten	162	2.4	Schleudergießen	196
2.3	Druckgießen	164	2.5	Stranggießen	196
2.3.1	Verfahren	164			

3 Einguss- und Speisertechnik

3.1	Eingusssystem (Schwerkraftguss)	197	3.1.4	Gestaltung des Eingusssystems	204
3.1.1	Allgemeines	197	3.1.5	Weitere Eingusssysteme	205
3.1.2	Naturgesetze, die Strömungs- und Füllvorgänge der Form beeinflussen	198	3.2	Speisersysteme	207
3.1.3	Berechnung des Eingusssystems	200	3.2.1	Aufgaben des Speisersystems	207
3.1.3.1	Zurückhalten von Schlacken	202	3.2.2	Speiserarten	207
			3.2.3	Speiserform	208

3.2.4	Wirkungsweise des Speisers	209	3.2.9	Vermeidung von Lunkern und Porositäten durch Sondermaßnahmen	215
3.2.5	Fehleranalyse	209	3.2.10	Speisungslänge	216
3.2.6	Speisertechnik Hauptbereiche	209	3.2.11	Innenkühlung	216
3.2.7	Berechnung der Speiser	210	3.2.12	Einfluss der Formstoffe	216
3.2.8	Erstarrungsverlängerung durch exotherme und isolierende Einsätze	214	3.2.13	Lunkerarten	217

4 Schmelztechnik und Schmelzöfen

4.1	Allgemeines über Schmelzöfen	218	4.6	Gattieren und Einsetzen	231
4.2	Auswahl der Schmelzöfen	218	4.7	Aufgabe der Schlacke und Schlackenführung im Schmelzprozess	232
4.3	Allgemeines zum Schmelzen	219	4.8	Schmelzebehandlung von Gusseisen	233
4.4	Schmelzöfen	220	4.8.1	Desoxidation	233
4.4.1	Kupolöfen	220	4.8.2	Impfen von Gusseisen	233
4.4.2	Induktionsöfen	222	4.9	Temperaturmessung	234
4.4.3	Lichtbogenöfen	227	4.10	Gießpfannen	234
4.4.4	Drehtrommelöfen	227	4.11	Arbeitssicherheit und Unfallverhütungsvorschriften	236
4.4.5	Duplexverfahren	227			
4.4.6	Schmelzöfen in NE-Gießereien	228			
4.5	Zustellung der Öfen mit Feuerfestmasse	230			

5 Putztechnik

5.1	Aufgabe	238	5.4	Strahlen	240
5.2	Gussputzerei Bereiche	238	5.5	Trennen und Schleifen	242
5.3	Auspacken	239			

6 Formstofftechnik

6.1	Formstoffe	244	6.2.3	Prozessstufen beim Formstoff-Umlaufsystem	259
6.1.1	Grundsätzlicher Aufbau der Formstoffe	244	6.2.4	Regenerieren von Altformstoffen mit aushärtendem Formstoffbinder	260
6.1.2	Anforderungen an Formstoffe	244	6.2.5	Mischen der Formstoffe	263
6.1.3	Formgrundstoffe	245	6.2.6	Formstoffsteuerung	264
6.1.4	Formstoffbindersysteme	246	6.3	Formstoffprüfung	265
6.1.4.1	Tongebundene Formstoffe	246	6.3.1	Aufgaben der Formstoffprüfung	265
6.1.4.2	Bindersysteme mit organischen Bindern	248	6.3.2	Prüfung des Formgrundstoffes	266
6.1.4.3	Anwendungen von Kaltharzverfahren	250	6.3.3	Prüfungen mit Probekörpern	267
6.1.4.4	Anorganische Formstoffbindemittel	251	6.3.4	Formfestigkeitsprüfung	268
6.1.5	Formstoffzusatzstoffe	255	6.3.5	Prüfung der Formstoffbestandteile	268
6.1.6	Form- und Kernüberzugsstoffe	256	6.3.6	Prüfung der harzgebundenen Formstoffe	268
6.2	Formstoffaufbereitung und Formstoffregenerierung	258			
6.2.1	Definition und Aufgabe	258			
6.2.2	Systeme	258			

7 Werkstoffkunde

7.1	Einführung	269	7.3.1	Eigenschaften	274
7.1.1	Einteilung der Werkstoffe	269	7.3.2	Anwendungen in der Formerei	274
7.1.2	Eigenschaften	270	7.3.3	Anwendungen im Modellbau	274
7.1.3	Verantwortlicher Umgang mit Werkstoffen und Rohstoffen	271	7.3.4	Chemie der Kunststoffe	278
7.2	Holz	273	7.3.5	Kunststoffherstellung	279
7.2.1	Anwendung für Gießereimodelle	273	7.3.6	Physikalisches Verhalten	280
7.2.2	Plattenförmige Holzwerkstoffe	273	7.4	Metalle	281
7.3	Kunststoffe	274	7.4.1	Grundlagen Metalle	281
			7.4.2	Eisenwerkstoffe	283

7.4.2.1	Roheisenerzeugung	283	7.4.3.1	Leichtmetalle und ihre Legierungen	304
7.4.2.2	System Eisen-Zementit	285	7.4.3.2	Schwermetalle und ihre Legierungen	311
7.4.2.3	Stahl	286	7.5	Gussfehler	314
7.4.2.4	System Eisen-Grafit	290	7.6	Korrosion	318
7.4.2.5	Gusseisen	291	7.7	Qualitätstechnik	319
7.4.2.6	Temperguss GJMW und GJMB	298	7.7.1	Qualitätsmanagement	319
7.4.2.7	Schneidstoffe	299	7.7.2	Werkstoffprüfung	321
7.4.2.8	Wärmebehandlung von Eisen-		7.8	Wiederholungsfragen zu Kapitel 7	325
	Kohlenstoff-Werkstoffen	301			
7.4.3	Nichteisenmetalle und ihre Legierungen	304			

8 Ergänzende Grundlagen und Techniken

8.1	Grundlagen Fertigungstechnik	326	8.4.3	Elektropneumatik	364
8.1.1	Einführung	326	8.4.4	Hydraulik	368
8.1.2	Umformen	327	8.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	370
8.1.3	Spanende Bearbeitung	328	8.5.1	Einführung	370
8.1.3.1	Keil als Werkzeugschneide	328	8.5.2	Analoge und digitale Signale	371
8.1.3.2	Winkel an der Werkzeugschneide	328	8.5.3	Aufbau einer SPS	372
8.1.3.3	Meißel	329	8.5.4	Arbeitsweise einer SPS	373
8.1.3.4	Sägen	329	8.5.5	Programmierung einer SPS	374
8.1.3.5	Feilen	330	8.5.6	Ablaufsteuerungen	378
8.1.3.6	Spiralbohrer	331	8.5.7	STEP 7	380
8.1.3.7	Senker	332	8.5.8	Aufbau eines SPS-Programms mit Programmbausteinen	381
8.1.3.8	Reibahlen	332	8.6	Rechnerunterstützte Verfahren	384
8.1.3.9	Gewindeschneidwerkzeuge	333	8.6.1	Allgemeines zur Computertechnik	384
8.1.3.10	Drehen	334	8.6.2	Flächenhafte 3D-Messtechnik	387
8.1.3.11	Fräsen	335	8.7	Automatisierung in der Gießerei	389
8.1.3.12	Bohrmaschine	336	8.7.1	Allgemeines	389
8.1.4	Schweißen von Gussteilen	337	8.7.2	Allgemeines zum Roboter	390
8.1.5	Mess- und Anreißtechnik	342	8.7.3	Aufbau des Roboters	390
8.1.5.1	Prüfen	342	8.7.4	Roboter im Gießereibetrieb	391
8.1.5.2	Messmethoden	342	8.8	Gießprozess-Simulation	394
8.1.5.3	Prüfmittel	343	8.8.1	Grundlagen	394
8.2	Chemie	347	8.8.2	Gussteilauslegung	397
8.2.1	Allgemeines	347	8.8.3	Gießprozessoptimierung	400
8.2.2	Elemente	347	8.8.4	Simulation der gesamten Prozesskette	402
8.2.3	Chemische Verbindungen	347	8.8.5	Implementierung der Gießprozess- Simulation im Unternehmen	404
8.2.4	Chemische Umsetzungen	348	8.9	Additive Fertigungsverfahren	405
8.2.5	Säuren – Basen – Salze	351	8.9.1	Begriff	405
8.3	Elektrotechnik	352	8.9.2	Geschichtliche Entwicklung	405
8.3.1	Allgemeines	352	8.9.3	Vorteile des Verfahrens	405
8.3.2	Stromkreis	353	8.9.4	3D-Druckverfahren in der Gießerei	406
8.3.3	Stromarten	355	8.9.5	Additives Verfahren für Feinguss	408
8.3.4	Spannungserzeugung	355	8.9.6	Laser-Sinter-Verfahren	409
8.3.5	Elektrische Unfälle	356	8.10	Industrie 4.0 hält Einzug in die Gießerei	410
8.4	Steuerungstechnik	358			
8.4.1	Steuern und Regeln	358			
8.4.2	Pneumatik	359			

9 Sponsoren

9.1	Werbeseiten	413	9.3	Sachwortverzeichnis	451
9.2	Bild- und Textquellenverzeichnis	449			

1 Formtechnik mit Technischer Kommunikation

1.1 Geschichtliche Entwicklung des Formens und Gießens

■ Gießen damals und heute

Fundstücke aus dem vorderen Orient zeigen, dass es den Menschen bereits vor rund 5000 Jahren gelang, Gegenstände aus Metall herzustellen. Beginnend mit einfachen Werkzeugen aus schwer verarbeitbarem Kupfer wurde durch die Technik des Legierens mit Zinn Bronzezuguss möglich. Heute wird eine breite Palette von Gusswerkstoffen zu endabmessungsnahen Bauteilen vergossen. Die Gießereiindustrie ist als Primärindustrie heute wichtiger Zulieferer vieler Branchen.

■ Erste Gießformen

Um Metallschmelze in definierte Formen zu gießen, wurden Gießformen notwendig. Wurden erste einfache Formen noch direkt als Negativformen aus bearbeitbaren Steinen herausgearbeitet, erforderten komplexere Geometrien die Weiterentwicklung des Formenbaues. Die gewünschte Kontur, bei der nun auch Hinterschnitte möglich waren, wurde dann als leicht formbares Wachsmo- dell erstellt, das in Ton eingeformt und dann ausgeschmolzen wurden. Der verbliebene Hohlraum konnte mit Schmelze ausgegossen werden. Aus diesem Verfahren hat sich das hochmoderne Feingießen entwickelt (siehe hierzu Kapitel 1.3.2.2).

■ Schmelz- und Legierungstechnik

Beginnend mit den im Altertum verwendeten Tiegelöfen mit Holzkohle als wichtigstem Energieträger hat sich die Ofentechnik bis heute weiterentwickelt. Je nach Werkstoff werden heute meist elektrische Energie, neben gießereitechnischen Gas oder Koks als Energieträger eingesetzt. Moderne Steuerungs- und Regeltechnik erlaubt genaueste Temperaturführung.

■ Gießereiberufe

Die früher sehr handwerklich geprägten Berufsbilder **Former** und **Gießer** haben sich aufgrund des technischen Fortschritts der Gießereitechnik und der Anlagentechnik zu komplexen Berufen entwickelt. Zu den immer noch wichtigen handwerklichen Fähigkeiten sind die Bedienung komplexer Anlagen und die Verarbeitung von prozessrelevanten Daten hinzugekommen. Typische moderne Gießereiberufe sind Gießereimechaniker(in), Gießereingenieur(in) und Laborberufe für die Metallurgie und die Formstoffe.

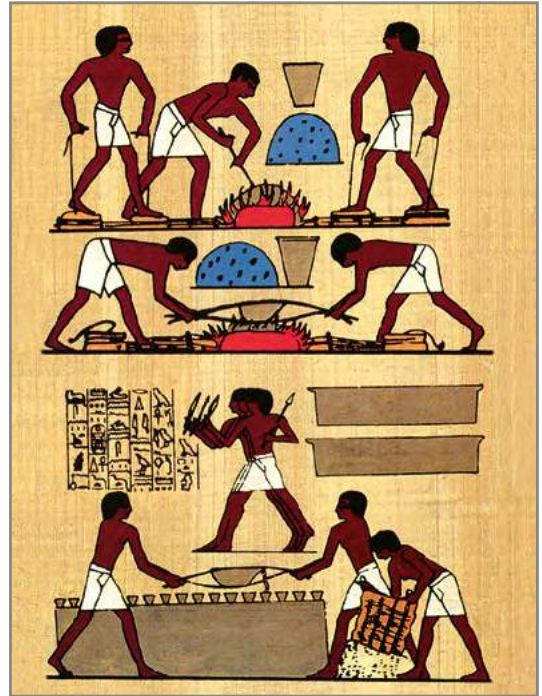


Bild 1: Schmelzen und Gießen in Ägypten 1450 v. Chr.
Bild oben: Arbeiten am Tiegelfeuer und Betätigen der Blasebälge
Bildmitte: Abnehmen des Schmelztiegels
Bild unten: Gießen einer Tempeltür und Transportarbeiten



Bild 2: Geschützrohr – typisches Gussteil des Mittelalters



Bild 3: Gießen heute: automatisiert und programmiert

■ Entwicklungen zur Industrie 4.0

Unter „industriellen Revolutionen“ sind verschiedene Epochen gemeint, in denen wichtige Erfindungen und Entwicklungen in Technik, Produktivität und Wissenschaften gemacht wurden. Tiefgreifende Veränderungen sollten dadurch erreicht werden, bedingt durch Bevölkerungszuwachs und Veränderungen von Arbeitsbedingungen. Aus diesem Grund werden diese Epochen auch als „Revolution“ bezeichnet.

1. Industrielle Revolution

Die 1. Industrielle Revolution begann Ende des 18. Jahrhunderts mit der Mechanisierung der Produktion. Erfindungen wie die Dampfmaschine und ihrer Anwendung im Lokomotivbau werden häufig als Symbol der 1. Industriellen Revolution angesehen. Kennzeichnend ist auch die aufstrebende Textilindustrie mit ihren Webereien. Werkstätten mit mechanisch angetriebenen Werkzeugmaschinen waren ebenso neu. Für alle diese Neuerungen wurden Gussteile benötigt, so dass in Folge die ersten industriellen Gießereien, mit einfachen Maschinen (Seite 68, Bild 2) zur Verdichtung von Formstoffen entstanden.

2. Industrielle Revolution

Kennzeichnend für die 2. Industrielle Revolution Ende des 19. Jahrhunderts ist die Serien- und Massenfertigung. Die Fließbandfertigung des Ford Modell T, genannt Tin Lizzy, ist das bekannteste Beispiel. Auch in den Gießereien begann die Serienfertigung mit einfachen Formanlagen.

3. Industrielle Revolution

Automatische Steuerungen der Maschinen kennzeichnen in den 70iger Jahren die 3. Industrielle Revolution. Computer Steuerungen übernehmen den Fertigungsablauf von den Handsteuerungen. In der Gießerei beginnt der Siegeszug von automatischen Gießanlagen. Die Gießereiprodukte erreichen konstant höchste Qualität.

4. Industrielle Revolution

Als Ausbau der Digitalisierung bis hin zur totalen Vernetzung könnte man die 4. Industrielle Revolution bezeichnen, die im Moment in vollem Gange ist (Kap. 8.10). Die Erfassung von Produktionsdaten und der Datenaustausch aller vernetzten Komponenten ermöglichen Sichtbarkeit und Transparenz der Parameter, um daraus Prognosen und entsprechende Handlungen abzuleiten. Für die Gießerei Industrie bietet dies ein wertvolles Potential zur Verbesserung der Produktionsprozesse und Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz und zur automatischen Regelung von Prozessparametern.

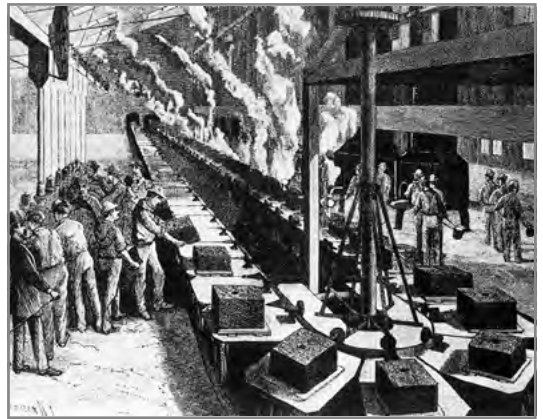


Bild 1: Eines der frühesten Beispiele für die Gießereimechanisierung ist vor 1890 die Gießerei der Westinghouse Corp. Bei Pittsburg/USA



Bild 2: Moderne Kernfertigung



Bild 3: Moderne Druckgussfertigung

■ Zeittafeln Geschichte

Der Fachausschuss Geschichte im VDG (Verein Deutscher Gießereifachleute) hat für die Geschichte des Formens, der Schmelztechnik und der Gusswerkstoffe Zeittafeln erarbeitet. Diese schließen in gekürzter Form das Kapitel „Geschichtliche Entwicklung des Formens und Gießens“ ab.

Formen (Beispiele)

5000 v. Chr.	Steinformen in Vorderasien
3000 v. Chr.	Wachsausschmelzverfahren in Vorderasien und Indien
1500 v. Chr.	Blasebälge statt Blasrohre in Ägypten
1500 v. Chr.	Erste Rennfeuer zur Eisenverhüttung in Vorderasien
1800 v. Chr.	Älteste Sandsteingießform in Mitteleuropa (Olmütz)
1250 v. Chr.	Metallische Dauerform aus Bronze für Beile in Uelzen
300 v. Chr.	Metallische Kokillen für Eisenguss in China
1100 n. Chr.	Erste schablonierte Formen für Bronzeграpen
1400	Drehspindel-Schablonenformen von Geschützrohren
1827	Erfindung der Modellplatte in der „Rote Hütte“, Harz
1872	Erste Formmaschine mit mech. Verdichtung (Seboldt)
1944	Croning-Grundlagenpatent f. d. Maskenformverfahren
1950	Kernschießmaschine von Hansberg

Öfen und Schmelztechnik (Beispiele)

5000 v. Chr.	Gold wird in Vorderasien geschmiedet und gegossen
3000 v. Chr.	Tiegelöfen zum Schmelzen von Bronze in China
500 v. Chr.	Keltische Schmelzfeuer der La-Tène-Zeit
1500 n. Chr.	Herd-Flammöfen in Glocken- und Kanonengießereien
1700	Ersatz von Holzkohle durch Koks in englischen Hochöfen
1700	Wilkinson-Schachtofen – Vorläufer des Kupolofens
1864	Siemens-Martin-Ofen (Gebr. Siemens, Pierre Martin)
1865	Erster Kupolofen mit integriertem Eisensammelraum
1879	Erster Lichtbogen-Schmelzofen (Werner v. Siemens)
1908	Erster Netzfrequenz-Induktionsrinnenofen
1912	Erster ölbeheizter Ofen zum Eisenschmelzen
1935	Erster Netzfrequenz-Induktionstiegelofen

Gusswerkstoffe (Beispiele)

5000 v. Chr.	Gegossenes und geschmiedetes Gold in Vorderasien
3000 v. Chr.	Bronzegüsse (Cu-As-Pb) in Indien und Mesopotamien
2700 v. Chr.	Beginn der Kupferzeit in Europa
1100 v. Chr.	Beginn der europäischen Eisenzeit
500 v. Chr.	Beginn des Eisengusses in China
1400 n. Chr.	Beginn des Eisengusses in Europa
	Gusseiserne Geschützrohre und Kugeln
1630	Erstes englisches Patent zum Tempern von Gusseisen
1800	Entdeckung der Leichtmetalle (Ti 1791, Mg 1808, Al 1825)
1845	Erster Formguss aus Tiegelstahl (J. Mayer, J.C. Fischer)
1909	Erste Magnesium-Gusslegierung
1921	Verwendung von Aluminium als Gusswerkstoff
1942	Arbeiten zur Herstellung von Temperguss



Bild 1: Mesopotamischer Kupferguss 2000 v. Chr.



Bild 2: Skytischer Goldkamm 400 v. Chr.



Bild 3: Hildesheimer Dom, Bronzeguss 1225 n. Chr.

1.2 Grundlagen der Formtechnik

1.2.1 Werdegang eines Gussteils

■ Konstruktion

In der Konstruktionsabteilung wird entschieden, ob ein Produkt durch Gießen, Schmieden, Schweißen oder durch Zerspänen hergestellt wird.

Auch der Konstrukteur muss die Grundlagen der Formtechnik kennen, damit er das Gussteil so konstruiert, dass es sich mit dem geringsten Aufwand formen lässt.

■ Modellbau

Im Modellbau nimmt das Gussteil erstmals dreidimensionale Gestalt an. Heute werden vielfach CNC-Maschinen zur Modellfertigung eingesetzt. Der Modellbauer fertigt nach der vorliegenden Zeichnung oder CAD-Vorgaben eine Modell-Einrichtung, die meist aus Modell und zugehörigen Kernkästen besteht. Die Zeichnung, nach welcher der Modellbauer arbeitet, unterscheidet sich von der Konstruktionszeichnung durch form- und gießereitechnische Ergänzungen wie Formschräge, Teilung und Kerne sowie die Bearbeitungszugabe.

Entsprechend dem verwendeten Modellwerkstoff werden die Modelle als Holz-, Kunststoff-, Schaumstoff- oder Metallmodelle bezeichnet.

■ Formerei

Mithilfe des Modells werden in der Formerei die Formen hergestellt. Formen sind Negative, sie enthalten den auszugießenden Hohlraum, der das zukünftige Gussteil ergibt. Die mit Modellen hergestellten Formen bestehen aus Formstoffen wie z.B. tongebundenem Quarzsand. Er erhält seine Festigkeit durch Verdichten. Dies geschieht in der Handformerei durch Aufstampfen und in der Maschinenformerei mit Formmaschinen durch Pressen, Schießen, Rütteln oder durch Impuls. Bei kunstharzgebundenen Formstoffen erfolgt die Verfestigung durch Aushärten.

■ Kernmacherei

Die Hohlräume eines Gussstückes können durch Kerne gebildet werden. Kerne sind Verkörperungen der Hohlräume und bestehen aus Formstoff. Zur Herstellung der Kerne benötigt man sogenannte Kernkästen, die in der Serienfertigung auch als Kernformwerkzeuge bezeichnet werden. Damit die Kerne in die Form eingelegt werden können, müssen Form und Kern eine Kernlagerung aufweisen.

Die Abteilung in der Formerei, welche die Kerne herstellt, wird als Kernmacherei bezeichnet.

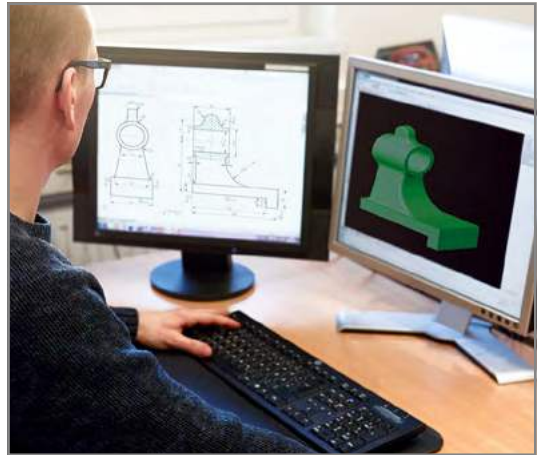


Bild 1: Konstruktion



Bild 2: Modelle und Kernkästen aus Holz und Kunststoff

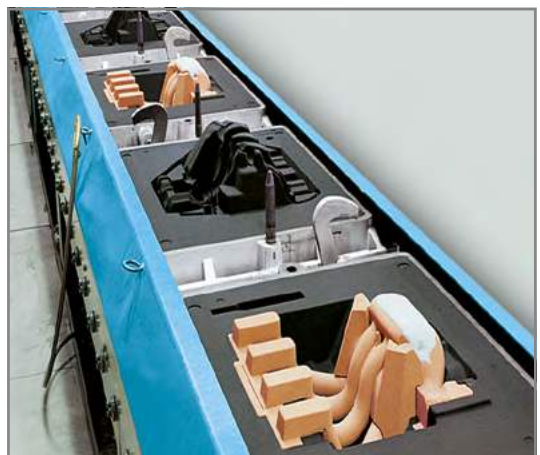


Bild 1: Formhälften mit eingelegten Kernen in einer automatischen Formanlage

■ Schmelzen

Das zum Abgießen der Gussteile erforderliche flüssige Metall wird in der Schmelzerei aus Masseln, Rücklaufmaterial und teilweise Schrott erschmolzen. Das Zusammensetzen dieser Rohstoffe wird als Gattieren bezeichnet (Bild 1). Für Eisengießereien ist der älteste und am meisten verbreitete Schmelzofen der Kupolofen, zunehmend wird jedoch auch hier der Induktionstiegelofen verwendet. Für Stahlguss kommt überwiegend der Lichtbogenofen und für die Nichteisenmetalle der öl-, gas-, oder widerstandsbeheizte Tiegel-schmelzofen zur Anwendung. Seltener wird mit dem Drehtrommelofen erschmolzen.

■ Gießen

Das Gießen ist der eigentliche Höhepunkt bei der Herstellung eines Gussteils. Allerdings beansprucht der Vorgang als solcher nur kurze Zeit, je nach Gussgewicht liegt die benötigte Zeit für das Füllen einer Form zwischen dem Bruchteil einer Minute und einigen Minuten. Um das flüssige Metall von den Schmelzöfen zu der gießfertigen Form und über das Eingussssystem in das Innere der Form zu bringen, werden Kranpfannen, Stopfenpfannen, Handpfannen oder andere Gießgefäße benutzt. Vor dem Gießen erfolgt oft noch eine Schmelze-Behandlung wie beispielsweise das Impfen.

■ Auspacken

Nach ausreichender Zeit für das Erstarren und Abkühlen der Gussteile erfolgt das Auspacken. Unter Auspacken versteht man das Freilegen des Gussteils von Formkasten und Formstoff. Während dieser Vorgang früher mithilfe des Pressluftmeißels erfolgte, geschieht dies heute vorwiegend auf dem Rüttelrost. Der Formstoff fällt dabei durch den Rost und kann der Wiederaufbereitung zugeführt werden, während das Gussteil weiter gekühlt und der Putzerei zugeführt wird. Häufig wird die Form auch aus dem Kasten ausgedrückt und vollends in einer Schwingtrommel ausgepackt.

■ Gussputzerei

In der Gussputzerei wird das Gussteil von Einguss- und Speisersystem, Gussgrat und Formsandresten befreit. Beim Strahlputzen werden körnige, metallische Strahlmittel mit hoher Geschwindigkeit auf die zu reinigende Oberfläche geschleudert, während beim Nassputzen der Vorgang mit einem Hochdruckwasserstrahl durchgeführt wird. Grate und Unebenheiten werden durch Schleifen beseitigt, hier werden auch bereits Manipulatoren eingesetzt.



Bild 1: Gattieren der für das Schmelzen notwendigen Rohstoffe



Bild 2: Gießen



Bild 3: Gussputzen

1.2.2 Formherstellung

Die Voraussetzung, um ein Gussteil herstellen zu können, ist das Vorhandensein einer Form. Die Form enthält das zukünftige Gussteil als Hohlraum, sie ist deshalb das Negativ des Gussteils.

■ Möglichkeiten der Formherstellung

Um den Hohlraum einer Form herzustellen, können zwei grundlegende Möglichkeiten angewandt werden:

- Bei **Dauerformen**, wie sie bei Kokillen und Druckguss notwendig sind, wird der Hohlraum meist aus einem Stahlblock zerspanend herausgearbeitet. In eine solche Dauerform werden immer wieder Gussteile gegossen und anschließend entformt (siehe Kap. 2.2 und 2.3).
- Bei **verlorenen Formen** wird mithilfe eines **Modells** der Hohlraum in den **Formstoff** geformt. Das Modell ist wie das Gussteil ein Positiv. Naturmodelle sind hierbei um das Schwindmaß größer, Kernmodelle besitzen außerdem noch Kernmarken.

Um den Hohlraum in den Formstoff zu formen, wurden ursprünglich einfache, flache Modelle in den Sand gedrückt und anschließend gezogen. Heute wird der Formstoff auf das Modell geschüttet und entweder durch Verdichten oder durch Aushärten verfestigt. Durch Ziehen des Modells aus der Form oder Abheben der Form vom Modell entsteht dann beim Formen der Hohlraum.

■ Entformbarkeit der Modelle

Das Entformen der Modelle ist nur möglich, wenn die Form nach oben offen ist. Das kann man auch erreichen, wenn man Form und Modell teilt. Die Teilfläche wird dadurch zur offenen Seite, an der das Modell herausgezogen wird. Formschräge, Lackierung und Trennmittel dienen ebenfalls zur leichteren Entformung der Modelle aus der Form.

■ Formung der Hohlräume durch Kerne

Hohlräume in Gussteilen können durch Kerne gebildet werden. Das sind Körper mit der Form des Hohlraumes bestehend aus Formstoff. Die Kerne werden in Kernkästen hergestellt, indem der Formstoff in diese gefüllt und verfestigt wird. An Stelle von Stampfen wird hierzu heute oft Schießen in Verbindung mit chemischer Aushärtung angewandt. Damit der Kern maßgerecht in die Form eingelegt und während des Gießvorganges nicht mehr verrückt werden kann, erhält er eine Kernlagerung. Diese Verlängerung des eigentlichen Hohlraumes wird an Modell und Kernkasten als Kernmarke bezeichnet.

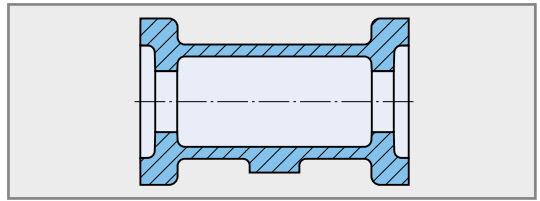


Bild 1: Gussteil

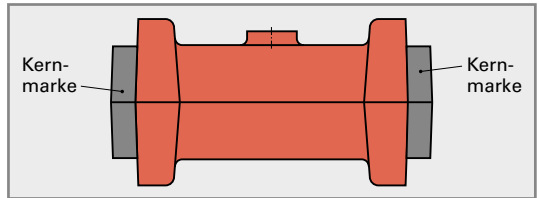


Bild 2: Modell zweiteilig

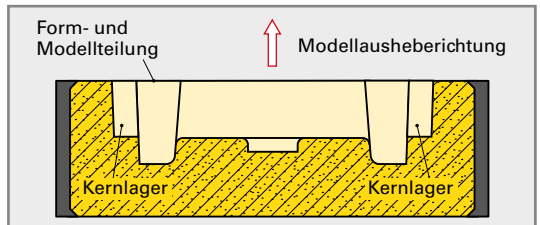


Bild 3: Formhälfte

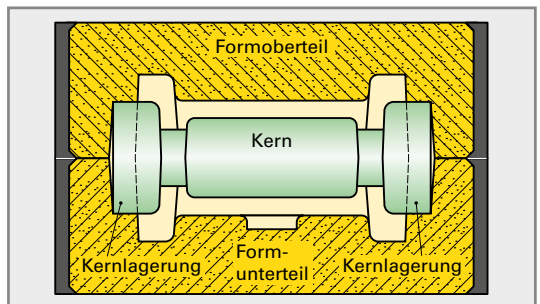


Bild 4: Formkasten zweiteilig mit eingelegtem Kern

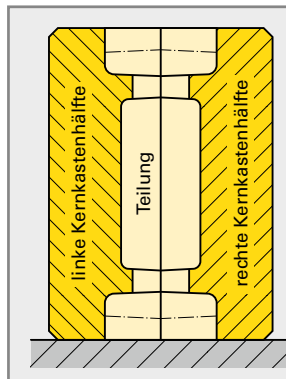


Bild 5: Kernkasten zweiteilig

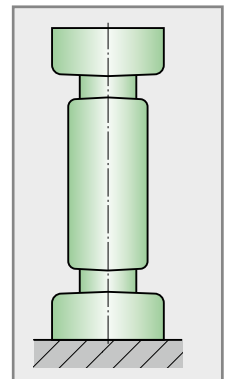


Bild 6: Kern entformt

1.2.3 Gießereimodelle – Arten

Zur Herstellung der Verlorenen Formen werden vom Modellbau Gießereimodelle gefertigt. Unterscheidung siehe Bild 1.

- **Dauermodelle – Verlorene Modelle**

Modelle, die mehr als einmal eingeformt und wieder ausgeformt werden, sind **Dauermodelle**. Dagegen werden **Verlorene Modelle** nur einmal eingeformt, bei Polystyrolschaummodellen vergast oder herausgeschnitten und beim Feingießverfahren ausgeschmolzen.

- **Naturmodell – Kernmodell**

Ein Modell, das genau dem Gussteil entspricht, ist ein Naturmodell (Bild 2). Werden dagegen Außen- und Innenkonturen durch Kerne gebildet, so handelt es sich um ein **Kernmodell**. Dieses ist an den schwarz gestrichenen Kernmarken (Bild 3) zu erkennen.

- **Modellarten nach Werkstoff**

Holzmodelle sind bei Güteklasse H3 und H2 aus Weichhölzern und bei den Güteklassen H1 aus Harthölzern und Hartholz furnierplatten hergestellt. Holzmodelle kommen neben allgemeinem Einsatz besonders für große Abmessungen, als Hohlmodelle zur Anwendung.

Kunstharzmodelle werden aus Epoxydharz und Polyurethanharz mithilfe von Negativen abgegossen. Sie werden für höchste Stückzahlen bis zu einigen zehntausend Abformungen eingesetzt.

Metallmodelle kommen bei Verfahren mit Heißaushärtung wie z. B. Croning zur Anwendung.

Polystyrolschaumstoffmodelle werden beim Vollformverfahren und beim Lost-Foam-Verfahren (Seite 49 und 50) in der Form gelassen und durch die Schmelze vergast. Aber auch lackiert, als Dauermodell, kommt dieses Modell für Stückzahlen bis meist 10 zur Anwendung.

Hohlbauweise – Massivbauweise

Kleine oder mittlere Modelle werden ohne Hohlraum, d.h. als Modell in **Massivbauweise**, und Großmodelle mit Hohlraum, d.h. als Modell in **Hohlbauweise**, ausgeführt. Durch Hohlbauweise verringern sich Gewicht und Kosten. Diese Modelle werden in Rahmenbauweise mit Beplankung oder ähnlich aufgebaut.

Handmodelle – Maschinenmodelle

Handmodelle sind für das Handformen und **Maschinenmodelle** für das Formen an Formmaschinen und automatischen Formanlagen bestimmt.

- **Modelle durch Additive Verfahren/3D-Druck**

Modelle können auch durch Additive Verfahren erzeugt werden. Bei den Additiven Verfahren wird das Modell schichtweise entsprechend der Daten aufgebaut (siehe Kap. 8.9).

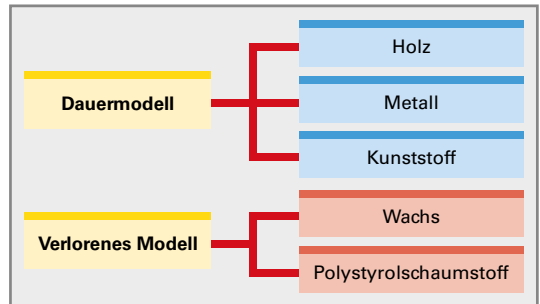


Bild 1: Modelle und ihre Werkstoffe

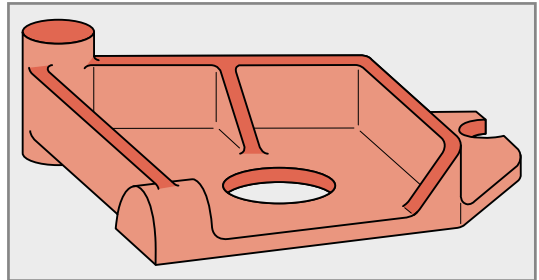


Bild 2: Naturmodell

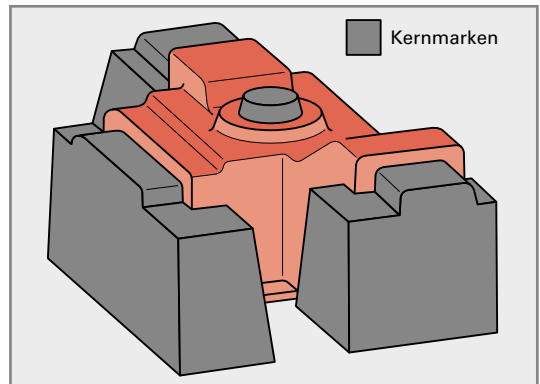


Bild 3: Kernmodell

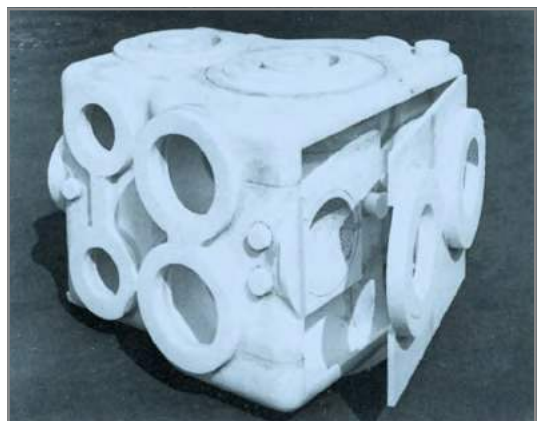


Bild 4: Schaumstoffmodell

1.2.4 Farbkennzeichnung der Modelle

Die Modelllackierung hat drei Hauptaufgaben:

- Erleichterung des Aushebens aus der Form
- Schutz vor Formstoff und Witterung
- Kennzeichnung

Die Kennzeichnung eines Modells erfolgt einerseits durch eine Modellnummer, die den Zusammenhang zwischen Modell und Begleitpapieren herstellt. Andererseits kann durch eine Farbkennzeichnung nach EN 12890 besonders dem Handformer eine einfache Arbeitsanweisung gegeben werden.

Zunächst erkennt der Former am Farbton der **Grundfarbe**, welche Gruppe von Gießmetall verwendet wird (Tabelle 1), an den meist gelben oder auch roten Strichen, wo das Gussteil bearbeitet wird, und an den schwarzen Flächen, wo der Kern eingelegt wird. Darüber hinaus sind die folgenden Kennzeichnungen für den Handformer besonders wichtig:

■ Stellen für Abschreckkörper

Eine Materialanhäufung kann im Gussstück zu Lunkern führen. Abhilfe sind Speiser, Kühlkörper für innere Kühlung und Abschreckkörper für äußere Kühlung.

Die Abschreckkörper werden zuerst als Modell angefertigt. Sie müssen dabei an das Modell angepasst werden. Nach dem Abgießen werden sie vom Former mit dem Modell eingeformt. Damit er die richtige Stelle kennt, wird sie am Modell farblich gekennzeichnet (Bild 1).

■ Hohlkehlen

Bei Großmodellen mit sehr wenigen Abgüssen wird gelegentlich die Ausführung der Hohlkehlen dem Former überlassen. Am Modell wird dies durch eine gestrichelte Linie und die Angabe des Radius gekennzeichnet.

■ Dämmteile

Dünne Holzmodelle müssen oft durch eine Leiste gegen Verziehen gesichert werden. Diese Leiste wird zwar abgeformt, darf aber nicht abgegossen werden. Der entsprechende Formhohlraum muss deshalb mit Formsand zugefüllt werden. Solche Teile werden als Dämmteile bezeichnet und mit schwarzen Schrägstrichen gekennzeichnet.

■ Kennzeichnung

Außer der üblichen Modellnummer können weitere Angaben wie Zeichnungsnummer, Kennung des Bestellers, Werkstoff-Spezifikation und Datum als Kennzeichnung herangezogen werden. Statt Lackschrift ist heute das Aufkleben von Kunststoffbuchstaben üblich.

	Grundfarben für Modelle, Kernkästen, Ziehkanten	am Gussteil zu bearbeitende Flächen	Stellen für Abschreckkörper
Gusseisen mit Lamellengrafit	rot	gelb	blau
Gusseisen mit Kugelgrafit	violett	gelb	rot
Stahlguss	blau	gelb	rot
Temperguss	grau	gelb	rot
Schwermetall	gelb	rot	blau
Leichtmetall	grün	gelb	blau
Leichtmetall	grün	gelb	blau

Tabelle 1: Unterscheidende Farbkennzeichnung der verschiedenen Gusswerkstoffe

Kernmarken und Lage des Kernes auf Teilflächen	schwarze Fläche
Sitzstellen loser Modellteile und zu entfernende Schrauben	schwarz umrandet
Speiser	gelbe Streifen
zu bearbeitende kleine und mittlere Flächen	Flächen ganzflächig, sonst Striche Farbe siehe Tab. 1
Aushebeeinrichtung mit Gewinde	Angabe der Gewindegröße z. B. M 10 auf Modellfläche

Tabelle 2: Gemeinsame Kennzeichnung

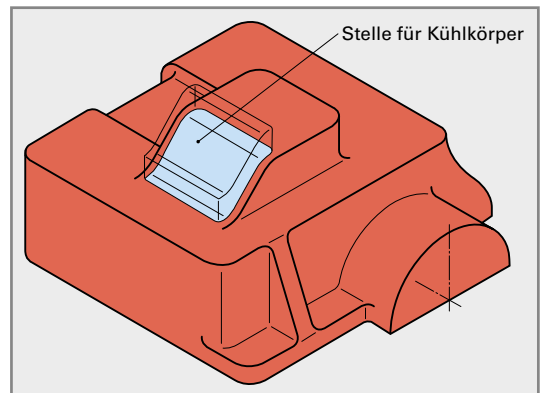
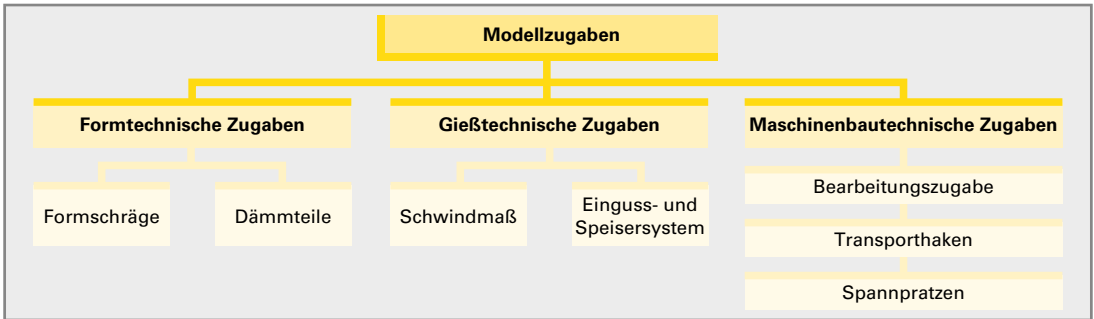


Bild 1: Kühlkörper-Kennzeichnung am Modell

1.2.5 Modellzugaben



■ Schwindmaße

Alle geschmolzenen Metalle und Legierungen ziehen sich bei der Abkühlung zusammen. Es handelt sich dabei um eine temperaturabhängige Volumenverminderung. Hierbei wird zwischen drei Phasen unterschieden (Bild 1):

- flüssige Schrumpfung
- Erstarrungs-Schrumpfung
- feste Schwindung

■ Schwindungsbereiche

- **Die flüssige Schrumpfung**
Diese zuerst einsetzende Schrumpfung ist trotz ihrer Größe ohne Belang, weil sie praktisch innerhalb des Eingussystems nach der Wirkung der kommunizierenden Röhren ausgeglichen wird.
- **Die Erstarrungs-Schrumpfung**
Diese Phase muss besonders vom Gießer beherrscht werden, hier können sonst bei ungenügender Speisung an Wanddickenanhäufungen Lunker (Schwindungshohlräume) entstehen. Durch gießtechnische Maßnahmen muss der Gießer dafür sorgen, dass die Lunker außerhalb des Gussteiles liegen (Bild 2).
- **Die feste Schwindung**
Diese für den Modellbauer wichtigste Schwindung setzt nach der Erstarrung ein und dauert bis zur Abkühlung auf Raumtemperatur.

■ Zweck der Schwindmaßzugabe

Um in der Gießerei maßhaltige Gussteile fertigen zu können, muss der Modellbauer die Modelleinrichtungen um den jeweiligen prozentualen Betrag der festen Schwindung des Gusswerkstoffes **größer** herstellen. Damit der Modellbauer rasch und sicher arbeiten kann, benutzt er Mess- und Anreißgeräte, bei denen die Maßskalen um das Schwindmaß größer hergestellt sind, sogenannte Schwindmaßstäbe.

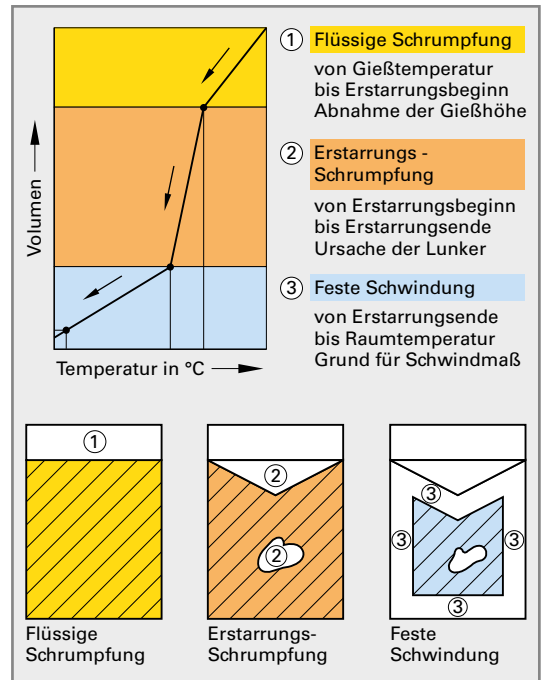


Bild 1: Bereiche der Schwindung beim Abkühlen von Metallen

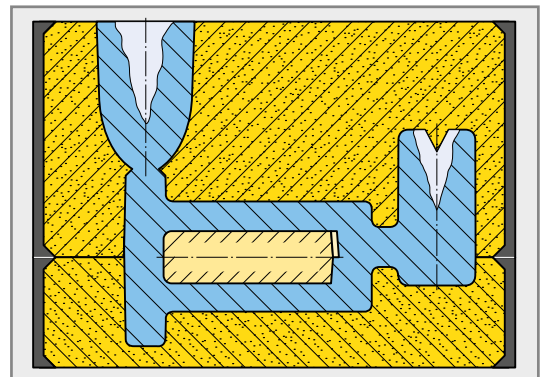


Bild 2: Schwindungshohlraum im Speiser

■ Größe des Schwindmaßes

Die Größe des Schwindmaßes ist ganz besonders vom Gusswerkstoff abhängig, deshalb muss sich der Modellbauer vor dem Bau des Modells über den vorgesehenen Gusswerkstoff informieren, um dann mit dem erforderlichen Schwindmaßstab zu arbeiten.

Anhaltspunkte, nach denen sich der Modellbauer bei der Festlegung der Größe des Schwindmaßes richtet, enthält die EN 12890.

In Tabelle 1 werden die durchschnittlichen Erfahrungswerte der festen Schwindung von allen üblichen Gusswerkstoffen in Prozenten angegeben, erweitert um mögliche Abweichungen.

■ Behinderte Schwindung

Der Prozentsatz der Schwindung ist jedoch nicht nur vom Gusswerkstoff abhängig, sondern auch von der konstruktiven Gestalt (Bild 1), den Wanddicken der Gussstücke sowie von den Festigkeitswerten der Gießform.

In der Praxis kommen deshalb auch von der Norm abweichende Schwindmaße zur Anwendung. Wegen unterschiedlicher Wanddicken und wegen Materialanhäufungen an bestimmten Stellen der Gussstücke ist ein gleichzeitiger Ablauf der Erstarrung nicht gewährleistet. Daraus ergeben sich Spannungen, Formveränderungen und manchmal auch Risse am Gussstück.

Eine gießgerechte Konstruktion, welche eine gleichgerichtete Erstarrung durch möglichst gleichmäßige Wanddicken anstrebt, kann solche Auswirkungen vermeiden helfen.

Eine Behinderung der Schwindung wird durch sehr fest verdichtete Formen, getrocknete Formen und durch sehr feste, harte Kerne verursacht. Auch die oft bei großen Kernen notwendigen Kernarmierungen (Kerneisen) können die Schwindung behindern und vermindern.

In kritischen Fällen sollte man vorher mit den zuständigen Gießereifachleuten sprechen und sich dann an die angegebenen Erfahrungswerte halten. Nicht selten kann hierbei das Schwindmaß für die Länge anders angegeben sein als für die Breite und Höhe des Modells.

■ Schwindmaße für Kokillen- und Druckguss

Absolut unnachgiebige metallische Dauerformen, wie sie für das Kokillen und Druckgießen erforderlich sind, wirken sich sehr hemmend auf den Schwindungsvorgang aus. Deshalb werden beim Bau von solchen Gießwerkzeugen geringere Schwindmaße als beim Sandguss berücksichtigt (Tabelle 2).

Gusswerkstoff	Richtwert in %	Mögliche Abweichung in %
Gusseisen		
mit Lamellengrafit	1,0	0,5 ... 1,3
mit Kugelgrafit, ungeglüht	1,2	0,8 ... 2,0
mit Kugelgrafit, geglüht	0,5	0,0 ... 0,8
Stahlguss		
Manganhartstahl	2,0	1,5 ... 2,5
	2,3	2,3 ... 2,8
Temperguss		
weiß (GJMW)	1,6	1,0 ... 2,0
schwarz (GJMB)	0,5	0,0 ... 1,5
Aluminium-Gusslegierungen	1,2	0,8 ... 1,5
Magnesium-Gusslegierungen	1,2	1,0 ... 1,5
Kupferguss (Elektrolyt)	1,9	1,5 ... 2,1
Kupfer-Zinn-Leg. (Bronze)	1,5	0,8 ... 2,0
Kupfer-Zinn-Zink-Leg. (Rotguss)	1,3	0,8 ... 1,6
Kupfer-Zink-Leg. (Messing)	1,2	0,8 ... 1,8
Sondermessing-Guss (Cu-Zn-Mn(Fe-Al))	2,0	1,8 ... 2,3
Mehrstoff-Aluminiumbronzen		
Zinkguss-Legierungen	2,1	1,9 ... 2,3
	1,3	1,1 ... 1,5
Weißmetall (Blei-Zinn)	0,5	0,4 ... 0,6

Tabelle 1: Schwindmaßrichtwerte und mögliche Abweichungen

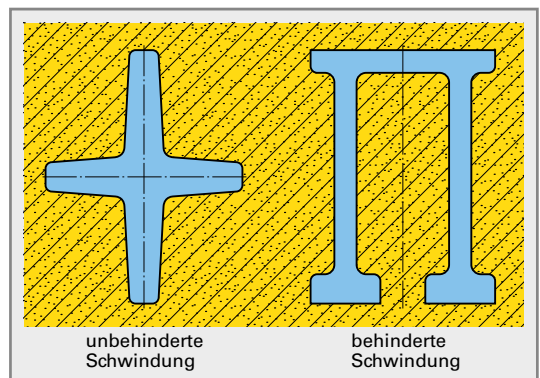


Bild 1: Schwindung und Gussstückform

Gießwerkstoff	Schwindmaße in % für	
	Kokillenguss	Druckguss
Reinaluminium	0,7 ... 1,2	
Aluminium-Legierungen:		
G-Al Si 12, G-Al Si 10 Mg	0,6 ... 0,8	0,5 ... 0,7
G-Al Si 5 Mg, G-Al Si 6 Cu 4,	0,5 ... 0,9	0,5 ... 0,7
G-Al Si 7 Mg, G-Al Si 7 Cu 3	0,5 ... 0,9	0,6 ... 1,0
G-Al Mg 3, G-Al Mg 5, G-Al Mg 10	0,5 ... 0,9	
G-Al Cu 3 Ti, G-Al Cu 4 Ti Mg		
Magnesium-Legierungen	0,8 ... 1,2	0,8 ... 1,2
Kupfer-Legierungen:		
Guss-Zinnbronze, Rotguss	1,0 ... 1,4	
Guss-Messing	0,8 ... 1,2	0,7 ... 1,2
Guss-Sondermessing (Al-, Mn-legiert)	1,4 ... 2,0	0,8 ... 1,6
Guss-Aluminiumbronze	1,4 ... 2,0	
Blei-Legierungen	0,3 ... 0,6	0,3 ... 0,6
Zinn-Legierungen	0,3 ... 0,6	0,2 ... 0,5
Zink-Legierungen	0,6 ... 1,0	0,4 ... 0,6

Tabelle 2: Schwindmaße für Kokillen- und Druckguss

■ Formschräge

Durch Neigung der in Ausheberichtung senkrechten Flächen erhalten Modelle und Formen eine **Formschräge**. Dadurch entfällt beim Ausheben ein wesentlicher Teil der Reibung, die Gefahr der Formbeschädigung wird geringer. Die Formschräge, auch Formkonus genannt, wird nach Bild 1 in drei Möglichkeiten ausgeführt. Dabei ergeben sich unterschiedliche Abweichungen vom Zeichnungsmaß N . Meist wird die Formschräge als Materialzugabe ausgeführt. An Kernmarken, Aufstampfböden und Dämmteilen ist die Formschräge größer als an Gusskonturen der Modelle, an Dauerformen geringer.

■ Bearbeitungszugaben (Bild 1, S. 19)

Gussteile müssen zur spanenden Bearbeitung durch Drehen, Fräsen, Schleifen usw. eine Zugabe von einigen Millimetern erhalten. Die Flächen, die eine solche Bearbeitungszugabe erhalten sollen, sind in der Zeichnung nach DIN ISO mit Symbolen wie in Bild 2 versehen. Bei zu geringer Zugabe kann durch Verzug, Schwindung u. a. Einflüsse das Werkzeug oft nicht mehr im Material arbeiten. Bei zu großer Zugabe werden die Bearbeitungskosten zu groß.

Eine optimale Zugabe richtet sich daher nach folgenden Abhängigkeiten:

- **Werkstückgröße**
Je größer die Werkstückabmessung, umso größer ist die Bearbeitungszugabe.
- **Gusswerkstoff**
Bei Stahlguss ist die Zugabe größer als bei Gusseisen, bei Leichtmetall geringer.
- **Lage der Bearbeitungsflächen**
Die spezifisch leichteren Verunreinigungen der Schmelze wie Schlacke, Oxide und Schaum können sich im Oberteil ablagern, deshalb ist die Bearbeitungszugabe bei Großmodellen im Oberteil oft größer.
- **Formverfahren**
Handformverfahren, Vollformen weisen mehr Zugabe als Maschinenformverfahren auf.

■ Maschinenbautechnische Zugaben

Zum Bearbeiten müssen die Gussteile auf dem Maschinentisch festgespannt werden. Hierzu sind oft zusätzliche Auflagen und Spannelemente, wie in Bild 3 links, erforderlich. Zum Transport mit dem Kran sind für große Gussteile häufig Haken und Schwenkzapfen notwendig (Bild 3 rechts).

■ Gießtechnische Zugaben

Das Einguss- und Speisersystem kann z. B. bei Stahlguss bis 50 % des Gussgewichtes betragen.

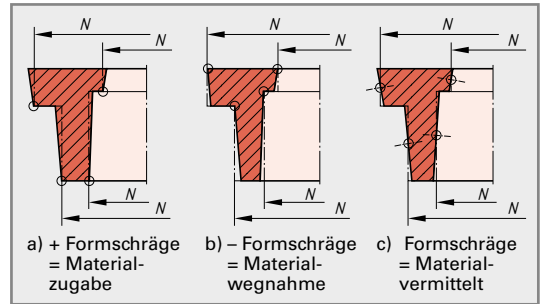


Bild 1: Die drei Ausführungsmöglichkeiten der Formschräge

Höhe in mm	Formschräge in mm
bis 30	1 bis 1,5*
über 30 bis 80	2 bis 2,5*
über 80 bis 180	2,5 bis 3*
über 180 bis 250	3 bis 4*
über 250 bis 1000	+ 1,0 je 250 Höhe
über 1000 bis 4000	+ 2,0 je 1000 Höhe

* abhängig vom Formverfahren, Genaueres siehe EN 12890

Tabelle 1: Formschräge an Modellen nach EN 12890

Höhe in mm	Schräge in Grad	An den Oberteil-Kernmarken wird in der Regel eine größere Schräge angebracht, z. B. 8°, 10° oder 15°.
bis 70	5°	
über 70	3°	

Tabelle 2: Formschräge für Unterteil-Kernmarken

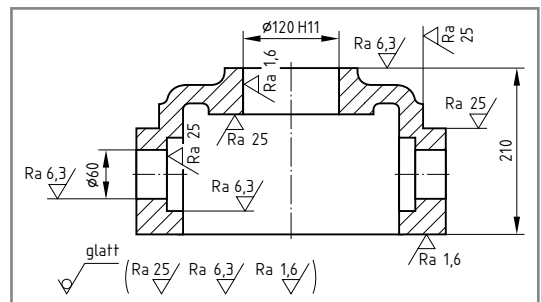


Bild 2: Symbole zur Angabe der Oberflächenbeschaffenheit nach DIN ISO 1302 (neu)

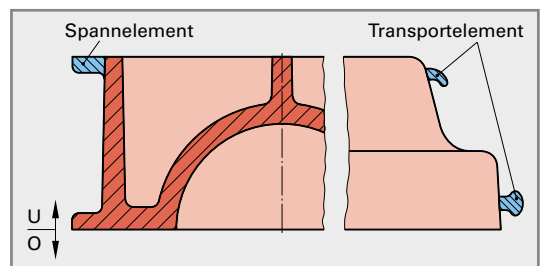


Bild 3: Maschinenbautechnische Zugaben (als Schaumstoff-Modellteile)

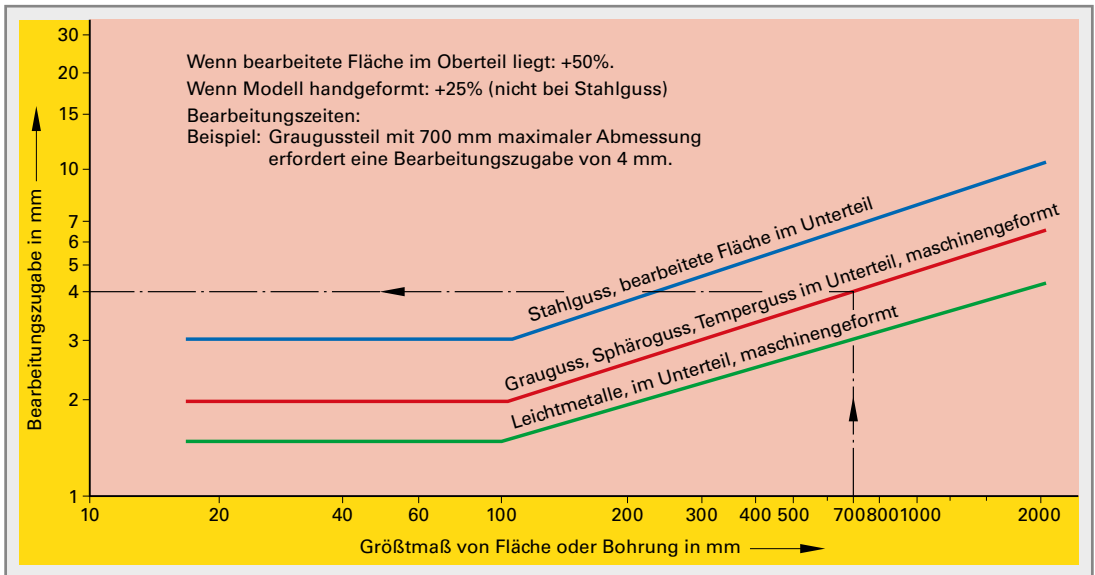


Bild 1: Bearbeitungszugaben

■ Bearbeitungsflächen – Abgrenzung

Wird eine Bearbeitungsfläche durch einen Kern begrenzt, dann ist darauf zu achten, dass das Nennmaß auch bei einer etwas unterschiedlichen Bearbeitung unverändert bleibt (Bild 3).

■ Kantenabrundungen

Das Modell soll, außer an den Teilflächen, abgerundete Kanten haben. Dadurch wird das Ausheben des Modells aus dem Formsand erleichtert, ebenso läuft das Gießmaterial an Rundungen sicherer aus als in scharfen Ecken. Auch die Gefahr der Rissbildung am Gussteil ist bei abgerundeten Kanten geringer. Um den **Sandkanteneffekt** zu vermeiden, werden Kanten ebenfalls abgerundet:

Beim Sandkanteneffekt führt der Wärmestau zu einer Überhitzung an der scharfen Kante. Hier können sich im Formstoff Gase entwickeln, die in den Gießwerkstoff eindringen und damit möglicherweise zu blasigen Stellen bzw. Blaslunkern führen.

Die **Kanten der Bearbeitungszugaben** müssen aus den gleichen Gründen abgerundet werden, eventuell entstehende Ecken werden mit einer Ausrundung (Hohlkehle) versehen. Empfehlenswert ist eine Abrundung mit $R = 1/2$ bis $1/3$ der Bearbeitungszugabe (Bild 4a).

Wenn größer abgerundet wird, dann besteht besonders bei geringen Bearbeitungszugaben die Gefahr, dass bei Beschädigung dieser Modellflächen auch die Fertigteilflächen davon erfasst und unsauber werden (Bild 4b). Selbstverständlich soll auch eine genügend große Formschräge bei den Bearbeitungszugaben angebracht werden.

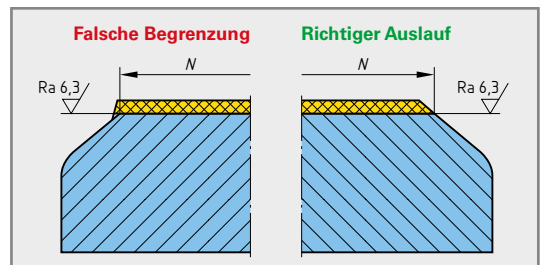


Bild 2: Bearbeitete Flächen mit anschließenden Schrägen

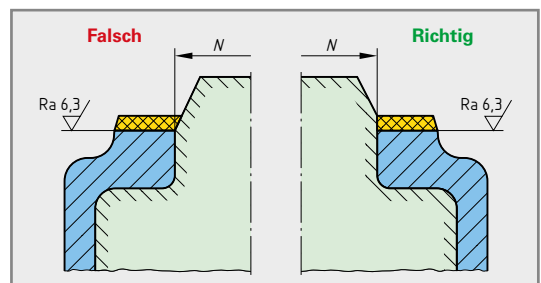


Bild 3: Beginn der Kernmarken an den Bearbeitungsflächen

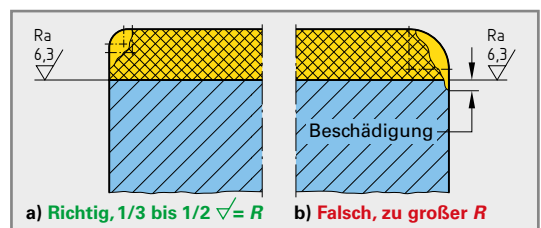


Bild 4: Kantenabrundung an Bearbeitungszugaben

1.2.6 Form- und Modellteilung

■ Zweck der Form- und Modellteilung

Modelle und Formen benötigen eine ebene Fläche zum Aufstampfen und zum Entformen. Diese ebene Fläche muss gleichzeitig die größte Querschnittsfläche sein, die sich von hier aus durch Konus oder Konturänderung verjüngt.

Liegt die ebene Fläche mit größtem Querschnitt nicht an einer Modellaußenseite wie in Bild 1 oder 2, so muss eine solche Aufstumpf- und Entformungsebene geschaffen werden.

Konturen, die sich nicht verjüngen, werden als **Hinterschneidungen** bezeichnet und sind so nicht entformbar (Bild 5).

■ Möglichkeiten der Form- und Modellteilung

Das Formen von Herdplatten in offenen Herdformen ist ein geschichtliches Beispiel für Formen mit einteiligem Modell in einteiliger Form. Heute ist der Normalfall die Verwendung einer zweiteiligen Form mit zweiteiligem Modell oder auch mit einteiligem Modell.

Anstatt einer waagerechten Teilung arbeiten insbesondere manche Formanlagen mit vertikaler Form- und Modellteilung (Bild 4).

Drei- und mehrteilige Formen, wie in Bild 3 dargestellt, sind Sonderfälle der Handformerei. Durch Formen mit Außenkernen oder durch Vollformen wird diese komplizierte Formerarbeit heute meist vermieden.

Die Bilder 2 und 3 zeigen, dass die Anzahl und die Lage von Teilungen an Form und Modell nicht immer übereinstimmen.

■ Losteile

Die bereits beschriebenen Hinterschneidungen werden oft durch Augen und ähnliche Konturen verursacht. Kann die Teilung nicht durch diesen Querschnitt gelegt werden, so wird die Kontur als Losteil ausgeführt.

Ein gutes Losteil besitzt eine Schwalbenschwanzführung, das Anstecken der Losteile mit Stiften ist eine schlechte Lösung.

Beim Ausheben des Modells bleibt das Losteil zunächst in der Form. Nach diesem Arbeitsgang wird dann das Losteil, wie in Bild 5b gezeigt, zuerst waagerecht nach innen und dann nach oben ausgeformt.

Bedingt durch die im Folgenden angeführten **Nachteile** werden Losteile meist durch Außenkerne vermieden:

- sie können beim Formen verrutschen
- sie erfordern zusätzliche Formerarbeit
- beim Ausheben kann die Form beschädigt werden
- die Losteilführung kann klemmen
- sie verschleißen vor dem Modell
- sie können verloren gehen

■ Unebene Teilungen

Häufig liegt bei Gussteilen der größte Querschnitt nicht in einer Ebene. Die Formteilung muss dann wie in Bild 1 der folgenden Seite durch eine Strichpunktlinie dargestellt, als **unebene Teilung** ausgeführt werden. Um trotzdem eine Aufstumpf- und Ausformebene zu erhalten, kann ein **Unterbau** das Modell entsprechend ergänzen (siehe folgende Seite).

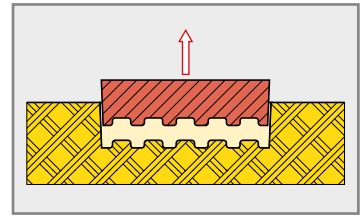


Bild 1: Offene Herdform
Modell einteilig, beim Entformen dargestellt

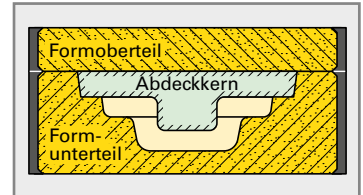


Bild 2: Zweiteilige Kastenform
Modell einteilig, bereits entformt, Abdeckkern eingelegt

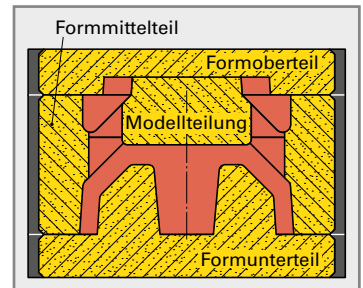


Bild 3: Dreiteilige Kastenform mit zweiteiligem Modell, noch nicht entformt

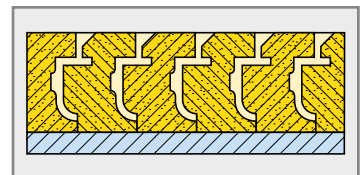


Bild 4: Form mit vertikaler Teilung als Formenstrang

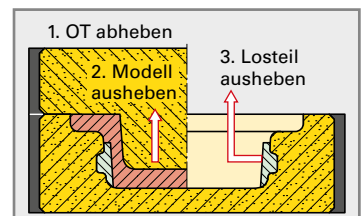


Bild 5: Formen mit Losteil
a) Modell eingeformt
b) Modell ausgeformt