



EUROPA-FACHBUCHREIHE
Verfahrenstechnik der Kunststoffberufe

Fachkunde

Kunststofftechnik

Lernfelder 1 bis 14

3., verbesserte Auflage

Erarbeitet von Lehrern an beruflichen Schulen

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorf Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten
Europa-Nr.: 13802

Autoren:

Fritsche, Cornelia	Dipl.-Ing.-Päd., Studienrätin	Massen
Fritsche, Hartmut	Dipl.-Ing. (FH)	Massen
Kolbinger, Jörg	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Windelsbach
Küspert, Karl-Heinz	Fachlehrer	Hof
Lindenblatt, Gerhard	Fachlehrer	Wunsiedel
Morgner, Dietmar	Dipl.-Ing.-Päd.	Chemnitz
Paus, Thomas	Dipl.-Berufs-Päd., Oberstudienrat	Wallerstein
Schmidt, Albrecht	Fachlehrer	Selbitz
Schwarze, Frank	Dipl.-Ing.-Päd., Studienrat	Sonneberg

Die Autoren sind Fachlehrer der technischen Ausbildung.

Lektorat: Dietmar Morgner

Bildentwürfe: Die Autoren, unter Mitwirkung der Arbeitskreise „Fachkunde Metall“, „Rechenbuch Metall“, „Der Werkzeugbau“, „Fenster, Türen und Fassadentechnik“, „Metallbau und Fertigungstechnik Grundbildung“, „Metallbautechnik Fachbildung“, „Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik“, „Steuern und Regeln“, „Qualitätsmanagement“, „Industrielle Fertigung“, „Handbuch der Metallbearbeitung“, „Fachkunde Elektrotechnik“, „Physik für Schule und Beruf“, „Technische Mathematik für Chemieberufe“, „Zerspantechnik Fachbildung“ sowie „Fachkunde Mechatronik“

Fotos: Leihgaben der Firmen (Verzeichnis siehe Seite 643ff) sowie Bilder der Autoren

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern
Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpf

Das vorliegende Fachbuch wurde auf der **Grundlage der neuen amtlichen Rechtschreibregeln** erstellt.

3. Auflage 2012

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind im Unterricht einsetzbar, da sie bis auf korrigierte Druckfehler und kleine Änderungen identisch sind.

ISBN 978-3-8085-1385-9

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

© 2012 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Übersetzung: Wissenschaftliche Publikationstechnik Kernstock, 73230 Kirchheim unter Teck

Umschlaggestaltung: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpf

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpf

Druck: M. P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort zur 3. Auflage

Die im Verlag **Europa-Lehrmittel** neu erschienene **Fachkunde Kunststofftechnik** ist sowohl für die theoretische Ausbildung des Facharbeiternachwuchses in der Kunststofftechnik als auch zur Fort- und Weiterbildung in der Meister- und Techniker Ausbildung konzipiert.

Der Inhalt des Lehrbuches **Fachkunde Kunststofftechnik** untergliedert sich in **18 Kapitel**. Die fachlichen Inhalte der Kapitel sind dem zu vermittelnden Lehrstoff der Lernfelder angepasst. Die Kapitel **1 bis 5** beinhalten die Grundlagenausbildung des 1. Ausbildungsjahres. Die Kapitel **3 bis 5** sind in den Lernfeldern des 2. Ausbildungsjahres zu vermitteln. Überschneidungen zur Grundausbildung sind gewollt und erforderlich. Für die Spezialisierungsrichtungen in der Ausbildung zum Kunststoff- und Kautschukverfahrensmechaniker im 3. Ausbildungsjahr sind die Kapitel **6 bis 18** zu vermitteln.

Alle Lehrplaninhalte der **Lernfelder**, die sich aus:

- der Verordnung über die Berufsausbildung zum Verfahrensmechaniker Kunststoff- und Kautschuktechnik/zur Verfahrensmechanikerin Kunststoff- und Kautschuktechnik vom 1. August 2012,
- Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz und
- Lehrplänen der einzelnen Bundesländer

ableiten, sind für die Auszubildenden die theoretische Grundlage für den Beruf eines Kunststoff- und Kautschukmechanikers.

Basierend auf diesen verbindlichen Vorgaben hat ein Team von erfahrenen Berufsschullehrern aus verschiedenen Einrichtungen dieses Fachbuch erarbeitet.

Durchgehend wurden von den Autoren einheitliche grafische Darstellungen für den Gebrauch des Fachbuches verwendet.

- Formeln, Merksätze usw. werden in farbigen Rahmen hervorgehoben.
- Aufzählungen werden durch einen grünen Punkt dargestellt. Fragen zur Wiederholung und Vertiefung des Lehrstoffes werden durch einen grünen Balken hervorgehoben.
- Über zweitausend mehrfarbige Fotos und Zeichnungen sowie Tabellen und Diagramme ergänzen die Inhalte des Fachbuches.

Schwerpunktmäßig wurden in der **3. Auflage** einige Begriffe sowie die Symbolik in Bildern aktualisiert. Alle Kritiken und Leserhinweise sind vom Autorenteam intensiv bewertet und in die neue Auflage eingearbeitet worden.

Ergänzend für den theoretischen Unterricht mit praxisorientierten Lernsituationen innerhalb der Lernfelder sind weitere Fachbücher und Arbeitsunterlagen des verlagtes unabdingbar, wie z. B.:

Tabellenbuch, Foliensätze sowie Arbeitsblätter und Prüfungsbücher.

Der Verlag und die Autoren des Lehrbuches Kunststofftechnik sind für Anregungen und kritische Hinweise, die der Verbesserung der folgenden Auflagen dienen, dankbar. Verbesserungsvorschläge können auf dem direktestem Weg über den Verlag und somit dem Autorenteam über:

lektorat@europa-lehrmittel.de zugestellt werden.

Für die umfangreiche und kompetente Unterstützung danken wir allen Unternehmen, Verbänden und Institutionen, die uns mit zahlreichen praxisbezogenen Unterlagen bei der Erarbeitung des Lehrbuches unterstützt haben.

1 Aufbau und Eigenschaften der Werkstoffe

1.1 Physikalische Grundlagen	10	1.5 Einteilung der Kunststoffe	65
1.1.1 Grundbegriffe	10	1.5.1 Einteilung nach der Bildungsreaktion	65
1.1.2 Masse und Gewichtskraft	11	1.5.2 Einteilung nach dem thermischen Verhalten	65
1.1.3 Länge, Fläche, Volumen und Dichte	13	1.6 Wärmeverhalten von Kunststoffen	67
1.1.4 Zeit und Geschwindigkeit	15	1.6.1 Wärmeverhalten von amorphen Thermoplasten	67
1.1.5 Weitere wichtige physikalische Größen	17	1.6.2 Wärmeverhalten von teilkristallinen Thermoplasten	68
1.1.6 Aggregatzustand, Adhäsion, Kohäsion und Kapillarwirkung	20	1.6.3 Wärmeverhalten von Duromeren	69
1.1.7 Gemenge	22	1.6.4 Wärmeverhalten von Elastomeren	69
1.1.8 Kräfte und ihre Wirkungen	24	1.7 Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung	71
1.2 Werkstofftechnik	26	1.7.1 Thermoplaste	71
1.2.1 Einteilung der Werkstoffe	26	1.7.2 Polymerblends	85
1.2.2 Eigenschaften der Werkstoffe	28	1.7.3 Elastomere	87
1.2.3 Einteilung der Eisen-Werkstoffe	31	1.7.4 Thermoplastische Elastomere	92
1.2.4 Handelsformen der Stähle	35	1.7.5 Duromere	95
1.2.5 Wärmebehandlung bei Stählen	36	1.8 Verstärkungsstoffe	101
1.2.6 Normung der Eisen-Werkstoffe	37	1.8.1 Verbundwerkstoffe	101
1.2.7 Nichteisenmetalle	39	1.8.2 Verstärkungsfasern	102
1.2.8 Verbundstoffe	40	1.8.3 Bauformen der Fasern (Roving)	102
1.3 Chemische Grundlagen	41	1.8.4 Faserhalbzeuge	103
1.3.1 Aufbau der Atome	41	1.8.5 Vorimprägnierte Halbzeuge	103
1.3.2 Das Periodensystem der Elemente	42	1.9 Zuschlag- und Hilfsstoffe	104
1.3.3 Aufbau der Moleküle	44	1.9.1 Anforderungen an Additive	104
1.3.4 Chemische Formeln	47	1.9.2 Additive für Thermoplaste und Duromere	104
1.3.5 Organische Kohlenwasserstoffe	48	1.9.3 Additive für Kautschuke	106
1.4 Bildung von Makromolekülen	52	1.10 Kunststoffe – Tabellenübersicht	107
1.4.1 Vom Erdöl zum Monomer	52		
1.4.2 Vom Monomer zum Polymer	54		
1.4.3 Makromoleküle	59		

2 Fertigungs- und Prüftechnik für Kunststoffe und Metalle

2.1 Grundlagen der Prüftechnik	108	2.3 Fertigungshauptgruppen	135
2.1.1 Grundbegriffe	108	2.3.1 Verfahren der Fertigungshauptgruppen	137
2.1.2 Messabweichungen	110	2.4 Berechnungen zur Fertigungs- und Prüftechnik	167
2.1.3 Toleranzen und Passungen	111	2.4.1 Berechnungen zur Prüftechnik	167
2.2 Aufbau, Funktion und Anwendung von Prüfmitteln	120	2.4.2 Berechnungen zur Fertigungstechnik	169
2.2.1 Längenprüfmittel	120	2.5 Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes	173
2.2.2 Lehren	128	2.5.1 Sicherheitszeichen	173
2.2.3 Winkelmessgeräte	129	2.5.2 Sicherheitsmaßnahmen	174
2.2.4 Oberflächenprüfmittel	130	2.6 Umweltschutzvorschriften	175
2.2.5 Farb- und Glanzprüfung	133		
2.2.6 Gewichts-, Dichte- und Feuchtigkeits-Prüfung	134		

3 Verarbeitung und Prüfung von Kunststoffen

3.1 Qualitätsmanagement	176	3.3.3 Deponierung	187
3.1.1 Qualitätsregelkreis	177		
3.1.2 Methoden des Qualitätsmanagements	177	3.4 Werkstoffprüfverfahren der Kunststofftechnik	188
3.1.3 Statistische Verfahren des Qualitätsmanagements	180	3.4.1 Kunststofferkennung	189
		3.4.2 Rieselfähigkeit	193
3.2 Qualitätssicherungsmaßnahmen	185	3.4.3 Roh- und Schüttdichte	195
3.2.1 Qualitätssichernde Elemente	185	3.4.4 Härteprüfung	197
3.2.2 Lieferantenbewertung	185	3.4.5 Feuchteprüfung	199
3.2.3 Kundenzufriedenheit	185	3.4.6 Schmelzindex (MFI)	200
3.2.4 Produkthaftung	186	3.4.7 Zugprüfung, E-Modul	201
		3.4.8 Schlag- und Kerbschlagprüfung	202
3.3 Ökonomischer und ökologischer Kunststoffeinsatz	187	3.4.9 Formbeständigkeit in der Wärme	203
3.3.1 Kunststoffrecycling	187	3.4.10 Infrarotspektroanalyse	204
3.3.2 Verbrennung	187	3.4.11 Spannungsoptik	205

4 Maschinentechnische Grundfunktionen an kunststoffverarbeitenden Maschinen

4.1 Systemanalyse	206	4.5 Verbindungseinheiten	227
		4.5.1 Welle-Nabe-Verbindungen	227
4.2 Antriebseinheiten	208	4.5.2 Schraubverbindungen	230
4.2.1 Elektromotor	208	4.5.3 Stiftverbindungen	232
4.2.2 Hydromotor	208	4.5.4 Nietverbindungen	233
4.2.3 Druckluftmotor	209		
4.3 Übertragungseinheiten	210	4.6 Begriffe und Größen der Elektrotechnik	234
4.3.1 Wellen	210	4.6.1 Grundkenntnisse	234
4.3.2 Achsen	210	4.6.2 Die elektrische Spannung	234
4.3.3 Zapfen	211	4.6.3 Der elektrische Strom	235
4.3.4 Kupplungen	212	4.6.4 Der elektrische Widerstand	236
4.3.5 Riementriebe	216	4.6.5 Das Ohmsche Gesetz	237
4.3.6 Kettentriebe	217	4.6.6 Schaltung von Widerständen	238
4.3.7 Zahnradtriebe	218	4.6.7 Die elektrische Arbeit und Leistung	239
4.3.8 Getriebe	219		
4.4 Stütz- und Trageinheiten	222	4.7 Eigenschaften und Anwendung von Energieträgern	240
4.4.1 Gehäuse und Gestelle	222		
4.4.2 Lager	223	4.8 Gefahren des elektrischen Stromes	240
4.4.3 Führungen	225		

5 Steuerungs- und Regelungstechnik

5.1 Steuerungs- und Regelungsvorgänge	242	5.4.2 Hydraulikflüssigkeiten und Bauteile	268
5.1.1 Der automatische Prozess	242		
5.1.2 Grundlagen der Steuerungstechnik	243	5.5 Elektropneumatische Steuerungen	274
5.1.3 Grundlagen der Regelungstechnik	245	5.5.1 Elektrische Signaleingabelemente	274
5.1.4 Bauelemente von Steuerungen	247	5.5.2 Relais, Schütze und Magnetventile	275
5.1.5 Darstellungsformen von Steuerungen	250	5.5.3 Grundsaltungen	276
5.2 Pneumatische Anlagen	253	5.6 Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS)	280
5.2.1 Drucklufterzeugung	253	5.6.1 Aufbau einer SPS	280
5.2.2 Ventile	257	5.6.2 Arbeitsweise und Programmierung einer SPS	281
		5.6.3 Programmierung einer Verknüpfungs- bzw. Ablaufsteuerung	284
5.3 Steuerungen entwerfen	262	5.7 Handhabungseinrichtungen	285
5.3.1 Vor- und Nachteile der Pneumatik	262	5.7.1 Einteilung von Handhabungseinrichtungen	285
5.3.2 Aufbau von Schaltplänen	262	5.7.2 Funktionseinheiten und die Programmierung von Industrierobotern	286
5.3.3 Bezeichnung der Bauteile und pneumatische Grundsaltungen	263	5.7.3 Besonderheiten und Schutzvorkehrungen bei Industrierobotern	288
5.3.4 Signalüberschneidungen	265		
5.4 Hydraulische Steuerungen	268		
5.4.1 Vorteile und Nachteile der Hydraulik	268		

6 Fertigungsspezifische Vor- und Nachbehandlungsmaßnahmen

6.1	Vor- und Aufbereitungsmaßnahmen	290		6.2	Nachbehandlungsmaßnahmen	304
6.1.1	Zerkleinern	290	6.2.1	Tempern	304	
6.1.2	Mischen	293	6.2.2	Konditionieren	305	
6.1.3	Plastifizieren	295	6.2.3	Oberflächenvorbehandlung	305	
6.1.4	Granulieren	297	6.2.4	Oberflächenveredlung	308	
6.1.5	Trocknung	300				
6.1.6	Lagerung und Transport	302				

7 Herstellen von Formteilen durch Spritzgießen

7.1	Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	313		7.2.4	Werkzeugtemperierung	339
7.1.1	Arbeitsstellungen der Maschine	314	7.2.5	Werkzeugentlüftung	341	
7.1.2	Zyklusablauf bei Thermoplastverarbeitung	315	7.2.6	Entformung	342	
7.1.3	Verarbeitungsparameter	316	7.3	Fertigungsverfahren	347	
7.1.4	Schließeinheit	317	7.3.1	Spritzgießen von Thermoplasten	347	
7.1.5	Spritzeinheit	325	7.3.2	Spritzgießen von Elastomeren	353	
			7.3.3	Spritzgießen von Duromeren	355	
7.2	Aufbau von Spritzgießwerkzeugen	330	7.3.4	Sonderverfahren	357	
7.2.1	Angussysteme	331	7.4	Spritzgießfehler	370	
7.2.2	Angussformen	332				
7.2.3	Werkzeugarten	336				

8 Herstellen von Formteilen durch Pressen

8.1	Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	374		8.1.4	Fehler und ihre Ursachen beim Verarbeiten von Formmassen	388
8.1.1	Formpressen	374	8.2	Pressen und Pressautomaten	389	
8.1.2	Spritzgießen	382	8.2.1	Nachbearbeiten von Formteilen	391	
8.1.3	Presswerkzeuge	384	8.2.2	Sonderverfahren zur Verarbeitung von Formmassen	392	

9 Herstellen von Formteilen durch Blasformen

9.1	Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	394		9.2.3	Formentlüftung	411
9.1.1	Plastifiziereinheit	397	9.2.4	Formkühlung	412	
9.1.2	Schlauchköpfe	398	9.2.5	Formunterbau	412	
9.1.3	Wanddickensteuerung	402	9.2.6	Entformungshilfen	413	
9.1.4	Schließeinheit	404	9.2.7	Zusatzeinrichtungen	413	
9.1.5	Schlauchtrennvorrichtung	405	9.3	Fertigungsverfahren	414	
9.1.6	Blasstation	406	9.3.1	Verfahren mit kontinuierlichem Schlauchaustritt	414	
9.1.7	Nachfolgestation	408	9.3.2	Verfahren mit diskontinuierlichem Schlauchaustritt	416	
9.2	Aufbau von Blaswerkzeugen	409	9.3.3	Streckblasen und Spritzblasen	418	
9.2.1	Werkstoffe	409	9.3.4	Bottlepack-Verfahren	419	
9.2.2	Trennkanten	410				

10 Herstellen von Formteilen und Halbzeugen durch Schäumen

10.1	Allgemeines über Schäume	420		10.3	Schäume aus reaktionsfähigen, flüssigen Ausgangskomponenten	431
10.2	Schäume aus blähfähigen Einzelteilchen	422	10.3.1	PUR-Schaum	431	
10.2.1	Expandierfähiges Polystyrol EPS	422	10.3.2	Melaminharzschäumstoff	439	
10.2.2	Expandierfähiges Polypropylen EPP	428				

11 Herstellen von Halbzeugen durch Extrudieren

11.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	440	11.3.2 Gegenläufiger Doppelschneckenextruder (Gegenläufer)	454
11.1.1 Aufbau einer Extrusionsanlage	441	11.3.3 Planetwalzenextruder	456
11.1.2 Aufgaben des Extruders	441	11.4 Extrusionswerkzeuge	457
11.1.3 Extruderbauarten	442	11.4.1 Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt	457
11.2 Einschneckenextruder	442	11.4.2 Profilwerkzeuge	461
11.2.1 Extruderschnecken	443	11.4.3 Flachfolien- und Plattenwerkzeuge	462
11.2.2 Plastifizierzylinder	446	11.4.4 Coextrusionswerkzeuge für Thermoplaste	463
11.2.3 Einfülltrichter, Förder- und Mischgeräte	448	11.5 Nachfolgeeinrichtungen	464
11.2.4 Antriebseinheit	448	11.6 Produktionslinien	466
11.2.5 Temperiersystem	448	11.6.1 Blasfolienanlagen	466
11.2.6 Glattrohretruder (Konventioneller Extruder)	448	11.6.2 Flachfolienanlage	468
11.2.7 Nutbuchsenextruder (Extruder mit genuteter Einzugsbuchse)	450	11.7 Fehler an Extrudaten	469
11.3 Doppelschneckenextruder	451		
11.3.1 Gleichläufiger Doppelschneckenextruder (Gleichläufer)	451		

12 Herstellen von Halbzeugen durch Kalandrieren

12.1 Systemanalyse der Kalandieranlage und des Prozesses	470	12.3.4 Abzugs-, Kühl- und Aufwickleinrichtung	478
12.2 Kalandrierbare Kunststoffformmassen	471	12.4 Nachbehandlung	478
12.3 Aufbau der Kalandrierstraße	471	12.5 Besonderheiten beim Kalandrieren von Kautschuk	479
12.3.1 Materialaufbereitung beim Kalandrieren	472	12.5.1 Kalandrierbare Kautschuke	479
12.3.2 Die Kalandereinheit	473	12.5.2 Besonderheiten der Kalandereinheit	480
12.3.3 Der Kalandriervorgang bei Thermoplasten	474		

13 Herstellen von Halbzeugen durch Beschichten

13.1 Beschichten mit fließfähigen Materialien	482	13.4 Beschichten aus der Schmelze	492
13.1.1 Trägerstoffe	482	13.5 Oberflächenbehandlung beschichteter Trägerbahnen	494
13.1.2 Beschichtungsmassen	483	13.5.1 Prägen	494
13.1.3 Arbeitsablauf von PVC-Beschichtungsverfahren	484	13.5.2 Überfärben	495
13.1.4 Beschichtungsverfahren und -maschinen	486	13.5.3 Lackieren	495
13.2 Das Tauchverfahren und Imprägnieren	488	13.6 Umweltschutzmaßnahmen	495
13.3 Kaschieren von Trägerbahnen	489		
13.3.1 Hotmelt- Sprüh-Kaschierung	492		

14 Herstellen von Mehrschicht-Kautschukteilen

14.1 Mischen und Kneten	496	14.8 Systemanalyse der Konfektionierungsanlage und deren Prozesse	508
14.2 Mischverfahren	497	14.9 Verfahrenszyklus	511
14.3 Der Innenmischer	498	14.9.1 Herstellung von Reifenrohlingen	511
14.4 Das Walzwerk	501	14.9.2 Heizpressen	512
14.5 Nachfolgeeinrichtungen	502	14.10 Vulkanisation	515
14.6 Mischaalsystem mit zentralem Innenmischer	503	14.10.1 Grundkenntnisse zur Vulkanisation	515
14.7 Herstellung von Platten und gummierten Festigkeitsträgern	504	14.10.2 Vulkanisationsverlauf	516
14.7.1 Gummieren von Geweben	504	14.10.3 Vulkanisationsverfahren	517
14.7.2 Skimmen	505	14.10.4 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren unter Druck	517
14.7.3 Belegen von Stahlcord und Geweben	505	14.10.5 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren ohne Druck	518
14.7.4 Profilieren	505		
14.7.5 Roller-Head-Verfahren (Extrudierverfahren)	506		
14.7.6 Nachfolgeeinrichtungen	506		

15 Herstellen von Bauteilen durch Bearbeiten von Halbzeugen

15.1 Umformverfahren	520	15.3 Kleben von Kunststoffen	549
15.1.1 Werkstoffverhalten beim Umformen	521	15.3.1 Technologie des Klebens	549
15.1.2 Umformbereiche	523	15.3.2 Klebstoffe	550
15.1.3 Biegeumformen	525	15.3.3 Gestaltung von Klebeverbindungen	552
15.1.4 Positivformung	527	15.3.4 Vorbehandlung der Klebeflächen	554
15.1.5 Negativformung	528	15.3.5 Der Klebevorgang	555
15.1.6 Druckumformen	529	15.3.6 Vor- und Nachteile von Klebeverbindungen	556
15.1.7 Spezielle Umformverfahren	530		
15.1.8 Umformwerkzeuge	531		
15.1.9 Vor- und Nachbearbeitung der Halbzeuge	532	15.4 Mechanische Verbindungen von Kunststoffen	557
15.2 Schweißen von Kunststoffen	534	15.4.1 Schnappverbindungen	557
15.2.1 Grundlagen des Kunststoffschweißens	534	15.4.2 Schraubverbindungen	558
15.2.2 Heizelementschweißen (Schweißen durch Wärmeleitung)	536	15.4.3 Nietverbindungen	559
15.2.3 Warmgasschweißen (Schweißen durch Konvektion)	538	15.4.4 Steck- und Pressverbindungen	559
15.2.4 Schweißen durch Strahlung	542		
15.2.5 Schweißen durch Reibung	543	15.5 Elemente und Baugruppen des Behälter- und Apparatebaus	560
15.2.6 Schweißen durch Induktion	547	15.5.1 Absperr-, Regel- und Sicherheits- armaturen	560
15.2.7 Anwendung der Schweißverfahren und Schweißsymbole	548	15.5.2 Rohrleitungssysteme und Rohrverbindungen	561

16 Herstellen von Bauteilen durch Laminieren

16.1 Werkstoffkomponenten für Faserverbundwerkstoffe	562	16.9 Formgebungsverfahren	569
		16.9.1 Handlaminierverfahren	569
16.2 Duroplastische Matrixharze	563	16.9.2 Vakuumsackverfahren	571
		16.9.3 Faserharzspritzen	571
16.3 Reaktionsmittel	564	16.9.4 Wickelverfahren	572
		16.9.5 Harzinjektionsverfahren	574
16.4 Härtung von Reaktionsharzen	564	16.9.6 Pressen	575
		16.9.7 Schleudern	575
16.5 Thermoplastische Matrices	564	16.9.8 Pultrusion	576
		16.9.9 Autoklav-Verfahren	577
16.6 Verstärkungsmaterialien	565	16.10 Nachbearbeitung	577
16.6.1 Ausführungsformen der Verstärkungs- materialien	566	16.11 Bauteilgestaltung	577
16.6.2 Stützkernwerkstoffe und Sandwich- materialien	568	16.11.1 Leichtbauprinzipien	578
		16.11.2 Werkstoffgerechte Bauteilgestaltung	578
16.7 Additive	568	16.11.3 Verfahrensgerechte Gestaltung	579
16.8 Vor- und Zwischenprodukte	568	16.12 Fügen von Bauteilen	580

17 Auskleiden und Abdichten

17.1 Auskleidewerkstoffe	582	17.2 Auskleidetechniken	585
---------------------------------	------------	--------------------------------	------------

18 Technik und Herstellung von Kunststofffenstern

18.1 Fenstersysteme und ihre Elemente	590	18.3 Montage und Befestigung von Fenstersystemen	612
18.1.1 Glas- und Scheibenarten	590	18.3.1 Arbeitsplan für die Montage eines unverglasten Drehkipp-Fensters	614
18.1.2 Profil- und Konstruktionsarten	596	18.3.2 Grundlagen der Bauphysik	615
18.1.3 Aufbau und Maßbezeichnungen von Fenstern	599		
18.1.4 Fensterbeschläge	601	18.4 Reparatur und Wartung von Fenstersystemen	619
18.2 Herstellung von Fensterrahmen	603	18.4.1 Beseitigung von Oberflächenschäden	619
18.2.1 Profilschnitt und -bearbeitung	605	18.4.2 Wartung der Fenster	619
18.2.2 Verbinden der Profilschnitte	607		
18.2.3 Klotzung und Dichtung der Scheibe	609		

7.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses

Die heutigen Spritzgießmaschinen werden so gebaut, dass sie, je nach Ausstattung, Thermoplaste, Duromere oder Elastomere verarbeiten können (**Bild 1**).

Sie werden in vier wesentliche Baugruppen unterteilt (**Bild 2**).

- Schließeinheit
- Spritzeinheit
- Maschinenbett mit Hydraulik
- Schaltschrank und Steuereinheit

Die Größenangabe richtet sich nach der **Schließkraft**, die die Maschine aufbringen kann. Sie wird in **Kilonewton (kN)** angegeben.

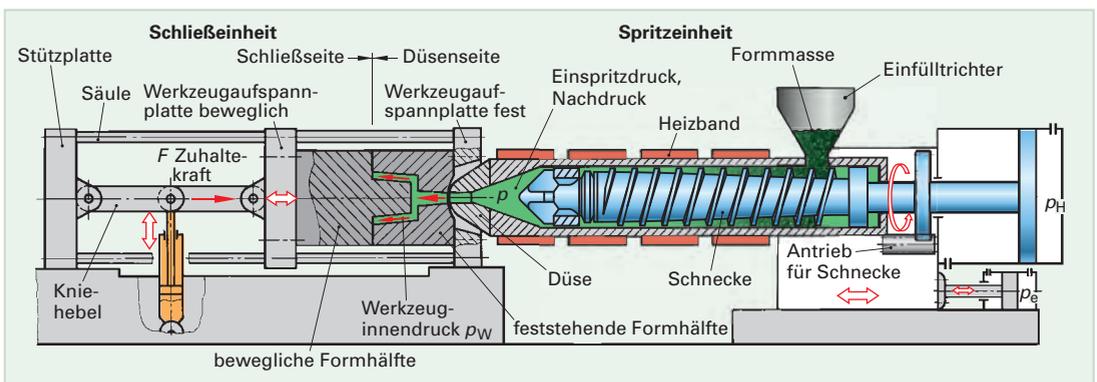


Bild 1: Schnitt durch eine Spritzgießmaschine



Bild 2: Spritzgießmaschine

7.1.1 Arbeitsstellungen der Maschine

Die Spritzgießmaschinen unterscheiden sich durch die verschiedenen Bauarten von Schließeinheiten und Spritzeinheiten, einschließlich Antrieb und Steuerungen. Viele Spritzgießmaschinen besitzen veränderbare Arbeitsstellungen. Die **Spritzeinheit** und die **Schließeinheit** können waagrecht oder senkrecht verstellt werden. Mehrere Spritzeinheiten können ebenfalls verwendet werden.

- Schließeinheit horizontal, Spritzeinheit horizontal (**Bild 1**).

Diese Einstellung ist für **konventionelles** Einspritzen durch die feste Aufspannplatte geeignet, bei horizontal verschiebbarer Spritzeinheit auch für seitliches Anspritzen.



Bild 1: Horizontal/horizontal



Bild 2: Horizontal/vertikal

- Schließeinheit horizontal, Spritzeinheit vertikal (**Bild 2**).

Diese Möglichkeit bringt beim Einspritzen in die Trennebene besonders bei **länglichen** und **flächigen Teilen** Vorteile.

- Schließeinheit vertikal nach unten, Spritzeinheit vertikal (**Bild 3**).

Die **Einlegeteile** lassen sich besser einbringen als in einer vertikalen Trennebene.

- Schließeinheit vertikal nach unten, Spritzeinheit horizontal (**Bild 4**). Diese Zusammenstellung ist zum Einspritzen in die Trennebene und für **horizontal eingebrachte Einlegeteile** geeignet.



Bild 3: Vertikal/vertikal



Bild 4: Vertikal/horizontal

- Schließeinheit vertikal nach oben, Spritzeinheit horizontal (**Bild 5**).

Diese Möglichkeit benutzt man für **empfindliche, leichte Einlegeteile** zum Einbringen in die feststehende Werkzeughälfte bei Einspritzen in die Trennebene

- Schließeinheit horizontal, Spritzeinheit horizontal und vertikal (**Bild 6**).

Diese Arbeitsstellung eignet sich für **Zweikomponentenspritzen** oder Zweifarbenspritzen.

- Schließeinheit vertikal, Spritzeinheit horizontal und vertikal (**Bild 7**).

Diese Maschine dient vorzugsweise zum Arbeiten mit **Einlegeteilen mit Zweistoffspritzen**. Auch werden Einlegeteile an verschiedenen Stellen mit unterschiedlichem Material umspritzt.

- Drehtischmaschine mit vertikaler Spritzeinheit (**Bild 8**).

Die Einlegephase erfolgt **parallel** zum Umspritzen. Damit wird mit **kürzeren** Zyklen gearbeitet.



Bild 5: Vertikal/horizontal



Bild 6: Horizontal/horizontal/vertikal



Bild 7: Vertikal/horizontal vertikal



Bild 8: Drehtisch mit vertikaler Spritzeinheit

Ein Spritzgießteil wird innerhalb einer bestimmten Zeit hergestellt, die als Taktzeit, Schusszeit oder **Zykluszeit** bezeichnet wird.

Die **Zykluszeit** ist ein wichtiger Faktor zur Berechnung der Herstellungskosten. Durch den Facharbeiter kann dieser optimiert und damit so kurz wie möglich gehalten werden.

7.1.2 Zyklusablauf bei der Thermoplastverarbeitung

Das geteilte **Werkzeug** wird mit regelbarer Geschwindigkeit **geschlossen**, und danach wird die **Schließkraft** aufgebracht.

Die Düse des Spritzaggregates fährt an das Werkzeug und baut die **Düsenanlagekraft** auf (**Bild 1a**).

Das vor der Schneckenspitze befindliche Material wird durch die Düse mit hohem Druck über den Angusskanal in den Formhohlraum **eingespritzt** (**Bild 1b**).

Sobald sich die Formmasse im Werkzeug befindet, wird der **Nachdruck** eingeleitet. Dieser soll den Volumenschwund beim Abkühlen ausgleichen. Damit beginnt die **Gesamtkühlzeit** des Spritzteiles. Durch die Abkühlung schwindet das Material. Um den Schwund auszugleichen, muss ein Massepolster vorhanden sein.

Die **Restkühlzeit** beginnt, wenn die **Nachdruckzeit** abgelaufen ist. Innerhalb dieser Zeit wird durch die **Schneckendrehung** wieder neues Material aufdosiert.

Nach dem **Dosieren** muss bei einer **offenen** Düse die Schnecke vor dem Abheben der Düse etwas zurückgezogen werden, um den Schneckenraum zu entlasten (Kompressionsentlastung).

Die Düse wird jetzt in den meisten Fällen abgehoben, um ein Erkalten des Materials an der Düsen Spitze zu vermeiden.

Wird in die **Trennebene** eingespritzt, muss die Düse abgehoben werden, um eine Beschädigung des Werkzeuges zu vermeiden.

Nachdem das Spritzgießteil abgekühlt ist, wird die **Form geöffnet** (**Bild 1c**), das Teil durch den Auswerfer ausgestoßen (**Bild 1d**) und nach einer **Pausenzeit** (wenn notwendig) wieder geschlossen. Der Zyklus beginnt von neuem.

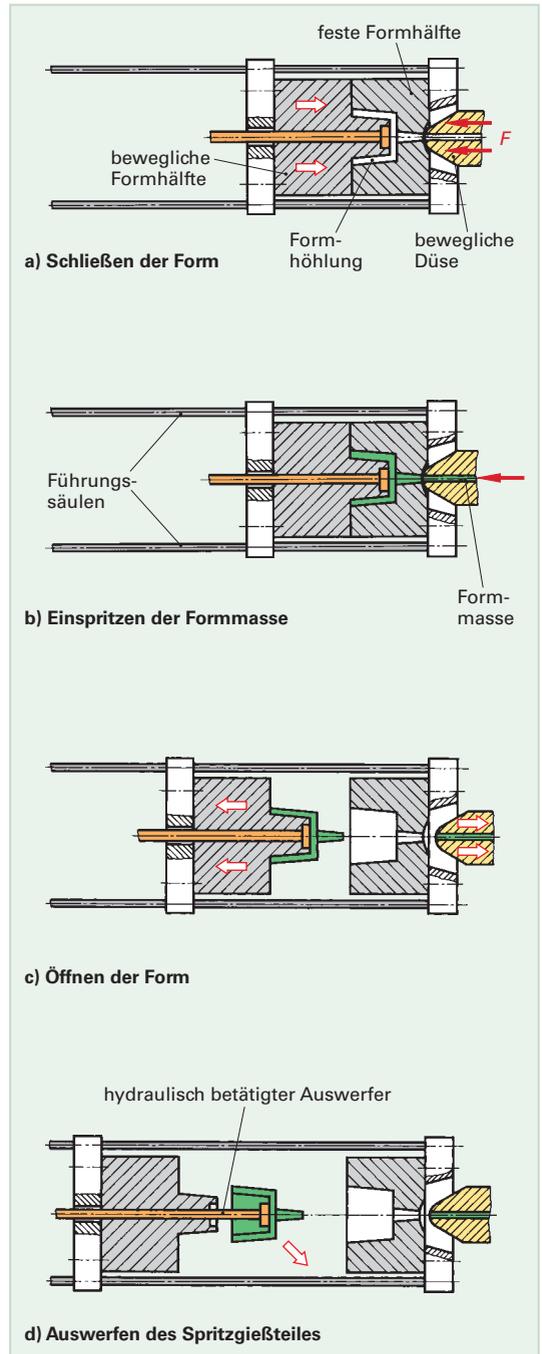


Bild 1: Zyklusablauf

Die Zeit, bis sich ein Vorgang beim Spritzgießen wiederholt, nennt man **Zykluszeit**.

7.1.3 Verarbeitungsparameter

Um ein Spritzgießteil zu fertigen, ist ein diskontinuierlicher (unterbrochener, immer wiederkehrender) Fertigungsablauf notwendig. Dazu ist ein Zusammenspiel verschiedener Verarbeitungsparameter erforderlich.

Jede Spritzgießmaschine verfügt über folgende Verarbeitungsparameter, die über die Tastatur verändert werden können (**Bild 1**):

- Temperaturen
- Drücke
- Wege
- Geschwindigkeiten
- Zeiten

Diese Verarbeitungsparameter werden je nach Herstellerfirma und nach Art der Maschine verschieden unterteilt.

Wichtige Temperaturen sind:

- Einfüllzonentemperatur
- Zylindertemperatur (**Bild 2**)
- Werkzeugtemperatur
- Öltemperatur

Wesentliche Drücke sind:

- Schließdruck (Schließkraft)
- Einspritzdruck
- Nachdruck
- Staudruck
- Auswerferdruck

Veränderbare Wege sind:

- Dosierweg
- Schneckenrückzugsweg
- Aggregatweg
- Werkzeugöffnungsweg
- Einspritzweg
- Auswerferweg

Einstellbare Geschwindigkeiten sind:

- Aggregatgeschwindigkeit
- Einspritzgeschwindigkeit
- Werkzeuggeschwindigkeit (**Bild 3**)
- Auswerfergeschwindigkeit
- Schneckenrückzugsgeschwindigkeit
- Schneckenumfangsgeschwindigkeit

Verstellbare Zeiten sind:

- Einspritzzeit
- Nachdruckzeit
- Restkühlzeit
- Anzahl der Hübe (Auswerferzeit)
- Pausenzeit
- Verzögerungszeit
- Überwachungszeiten



Bild 1: Tastatur



Bild 2: Parameteranzeige Temperatur

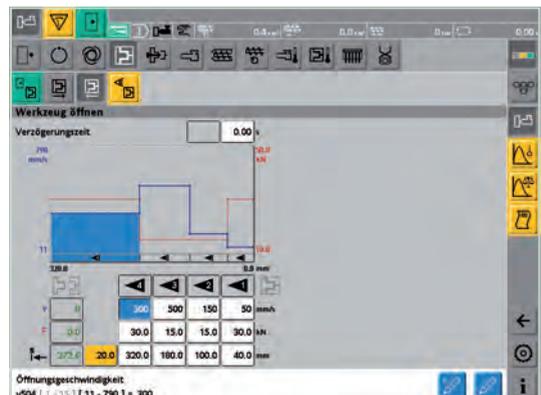


Bild 3: Parameteranzeige Geschwindigkeit

7.1.4 Schließeinheit

Die Schließeinheit einer Spritzgießmaschine erfüllt im Wesentlichen vier Aufgaben:

- Sie nimmt das Werkzeug auf und sichert es.
- Sie fährt die bewegliche Werkzeughälfte gegen die feste und schließt damit das Werkzeug.
- Sie bringt die notwendige Schließkraft auf, damit die Werkzeughälften nicht von der mit hohem Druck einströmenden plastifizierten Formmasse aufgetrieben werden können.
- Sie öffnet nach Ablauf der Kühlzeit das Werkzeug und betätigt das Entformungssystem.

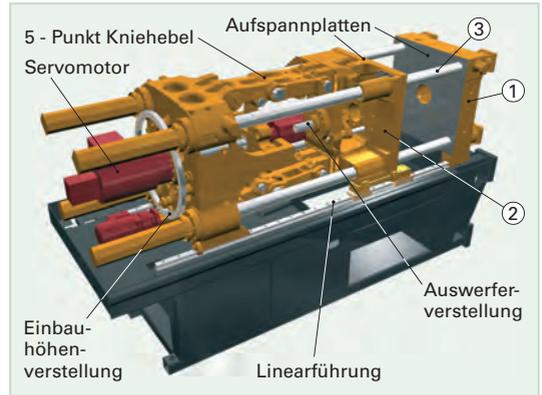


Bild 1: Schließeinheit

Die Schließeinheit hat eine **feste ①** und eine **bewegliche ②** Aufspannplatte (**Bild 1**). Diese sind mit Durchgangsbohrungen, Gewindebohrungen und einer Zentrierbohrung versehen. Das Aufspannbild ist der Betriebsanleitung (**Bild 2**) zu entnehmen.

Die Befestigung der Werkzeughälften erfolgt meist durch Anschrauben an die Aufspannplatten.

Weitere Befestigungsmöglichkeiten bieten Spannpratzen, pneumatische, hydraulische und elektromagnetische Spannsysteme.

Die Werkzeugbreite bei Maschinen mit Holmenführung ③ ist durch den **Holmenabstand** begrenzt, die Werkzeughöhe durch die **maximale Einbauhöhe** der Maschine.

Die Zentrierringgröße des Werkzeuges richtet sich nach der Zentrierbohrung der Aufspannplatte. Hier ist eine Spielpassung gefordert, um Mittigkeit mit der Düsenbohrung zu erhalten und das Werkzeug vor Verrutschen zu sichern. Die Länge des Auswerferbolzens wird mit dem Auswerferweg der Maschine abgestimmt. Das Kupplungsteil muss mit dem Gegenstück der Maschine zusammenpassen.

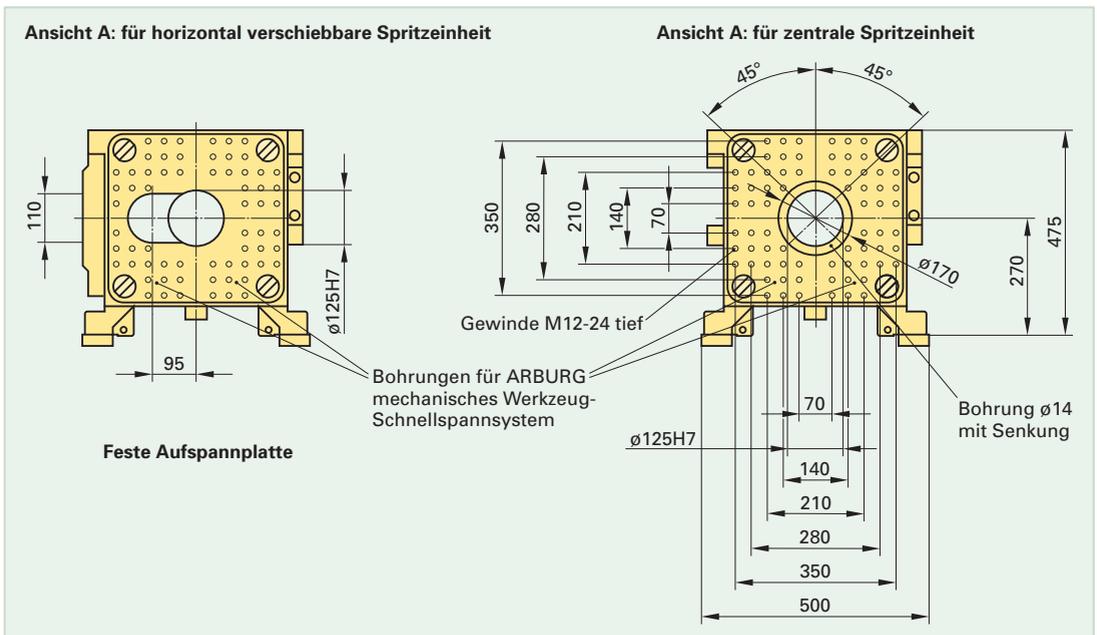


Bild 2: Ausschnitt Betriebsanleitung

Auswerfer

In der Mitte der beweglichen Aufspannplatte befindet sich ein axial beweglicher Bolzen. Er wird als Auswerfer bezeichnet. Dieser wird mit dem im Werkzeug integrierten Auswerfersystem verbunden.

Man unterscheidet mechanische und hydraulische Auswerfer.

- Mechanische Auswerfer

Auswerfer am Werkzeug, die beim Öffnen des Werkzeuges gegen einen Stehbolzen der Maschine fahren (**Bild 1**)

- Elektrisch angetriebene Spindeltriebe
- Hydraulisch betätigte Auswerfer

Direkt ans Werkzeug angebaute Auswerfer, die von der Maschine gesteuert werden (**Bild 2**).

Auswerfer, die von der beweglichen Aufspannplatte direkt aufs Werkzeug wirken (**Bild 3**).

Der am häufigsten verwendete Auswerfer ist der hydraulische Auswerfer. Er hat meist folgende Grundfunktionen:

- Schnellspannkupplung
- Einstellbare Kraft für Vor- und Rücklauf
- Einstellbarer Auswerferhub für Vor- und Rücklauf
- Auswerferhub (Rüttelschaltung) einstellbar

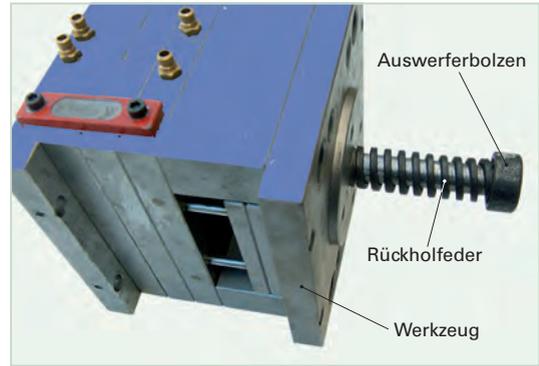


Bild 1: Mechanischer Auswerfer

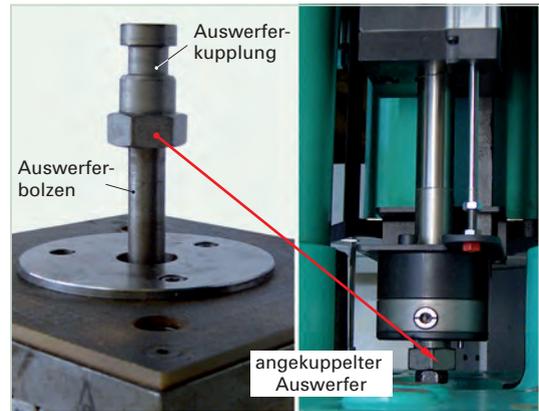


Bild 2: Hydraulisch betätigter Auswerfer

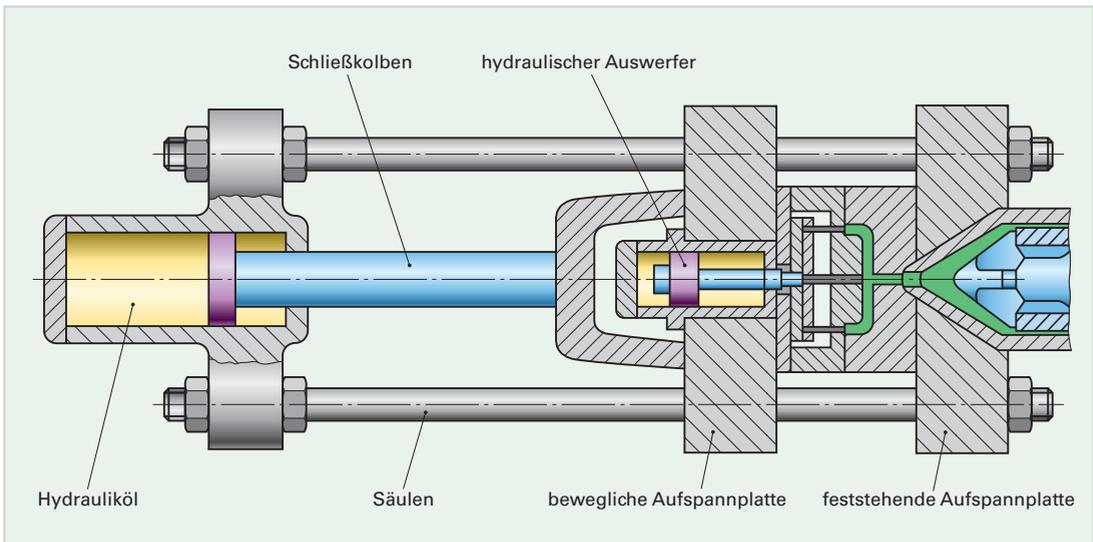


Bild 3: Lage hydraulischer Auswerfer

■ Schließ- und Zuhaltssysteme

Bei allen Schließeinheiten ist ein Mechanismus zur Aufbringung der Schließkraft notwendig. Dabei unterscheidet man eine **formschlüssige Verriegelung** durch elektrisch oder hydraulisch betätigte Kniehebel von einer **kraftschlüssigen Verriegelung** durch Hydraulikzylinder.

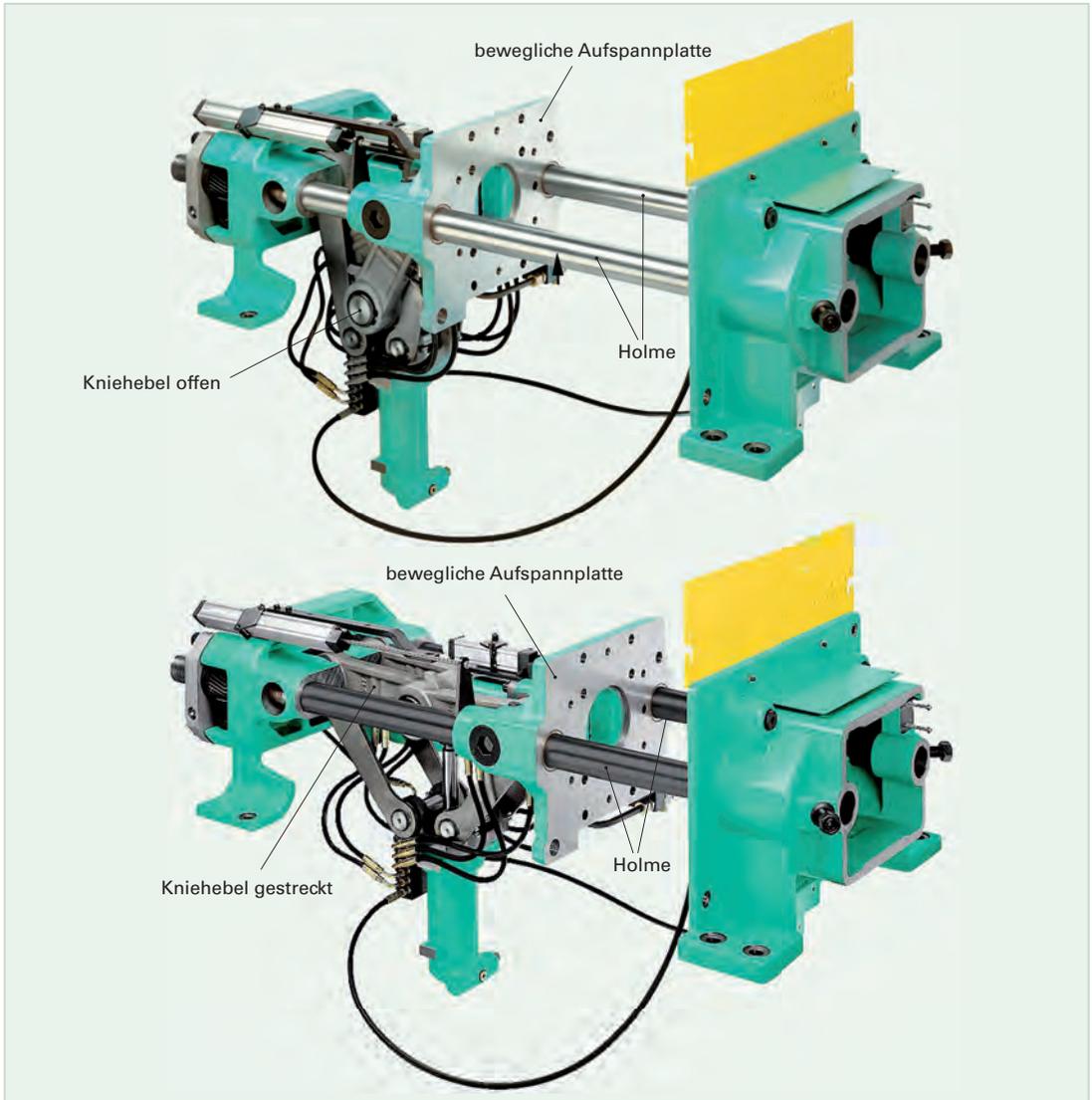


Bild 1: Einfacher Kniehebel

■ Kniehebelsystem

Das Kniehebelsystem ist ein formschlüssiges, **selbstsperrendes** System. Nach dem Schließen des Werkzeuges muss keine Kraft mehr aufgewendet werden, um den Kniehebel in der gestreckter Lage zu halten (**Bild 1**). Mit diesem System lassen sich hohe Verfahrgeschwindigkeiten und ein sanfter Werkzeugschluss erreichen. Es ist energiesparend, da nur wenig Druckflüssigkeit transportiert werden muss.

Die Schließkraft wird durch Verschieben des Kniehebelsystems geändert.

Der Kniehebel darf beim Abstellen der Maschine **nicht gestreckt** sein, da sonst die Gelenke **kaltverschweißen** können.

■ Direkt-hydraulisches System

Über den am Schließzylinder anstehenden Hydraulikdruck lässt sich die Schließkraft exakt einstellen. Sie bleibt **konstant**, unabhängig von der Wärmedehnung der Maschine und des Werkzeuges. Das zentral bewegte Kolben-system hat nur wenig bewegte Teile und ist dadurch sehr verschleißarm. Zum Aufbau der Schließkraft muss das gesamte Öl im Schließzylinder unter Druck gesetzt werden (**Bild 1**). Das kostet mehr Zeit und Energie als das Verriegeln des Kniehebelsystems.

Der maximale Öffnungshub steht nur bei **minimaler Einbauhöhe** zur Verfügung. Er verkleinert sich im gleichen Maße, wie die Einbauhöhe größer wird.

■ Hydraulisch-mechanisches System

Zwei voneinander unabhängige Hydraulikzylinder bauen die Schließkraft auf bzw. bewirken die Fahrbewegungen. Ein im Durchmesser kleiner Fahrzylinder führt die Öffnungs- und Schließbewegung aus. Dadurch wird nur ein geringer Ölstrom benötigt (**Bild 2**).

Bei geschlossener Form wird der Fahrzylinder **mechanisch** verriegelt, und ein kurzhubiger Schließzylinder sorgt für die nötige Schließkraft. Der Fahrzylinder fährt immer aus.

■ Holmenlose Spritzgießmaschine

Durch die **Maschinenholme** haben die bis jetzt genannten Schließeinheiten eine gute Führung und eine genaue Parallelität der Aufspannplatten. Große Werkzeuge mit überstehenden Teilen (wie **Kernzügen**) lassen sich meist nur mit sehr viel Zeitaufwand ein- und ausbauen. Holmenlose Maschinen ermöglichen eine bessere Zugänglichkeit.

Bei der holmenlosen Maschine hat das Maschinenbett meist eine C-Form (**Bild 3**). Die Schließkraft wird durch einen Hydraulikzylinder aufgebracht, der sich auf einer Seite der C-Form abstützt, während die feste Werkzeughälfte durch die andere Seite des C-Bettes gehalten wird. Die Verformung des C-Profiles wird durch ein Gelenk hinter der beweglichen Aufspannplatte ausgeglichen. Nachteilig ist, dass das Werkzeugsystem unter der schlechteren Führung der Werkzeugaufspannplatten sehr stark beansprucht wird und deshalb mehr verschleißt.

■ Elektromechanische Spritzgießmaschine

Die Schließkraft wird meistens mit einem Servomotorantrieb über einen Kniehebel aufgebracht.

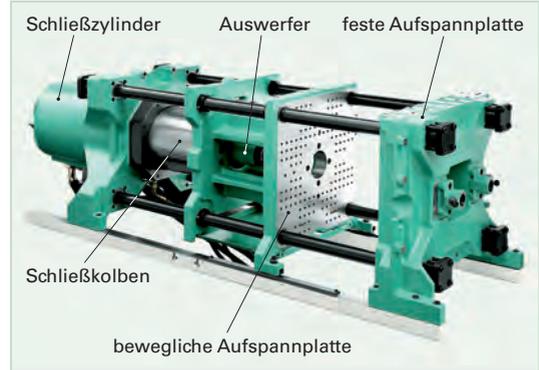


Bild 1: Hydraulisches Schließsystem

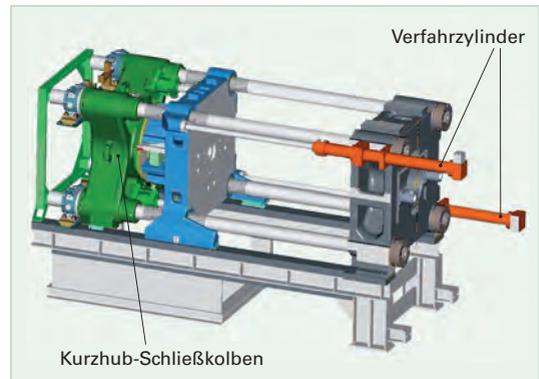


Bild 2: Hydraulisch-mechanisches System

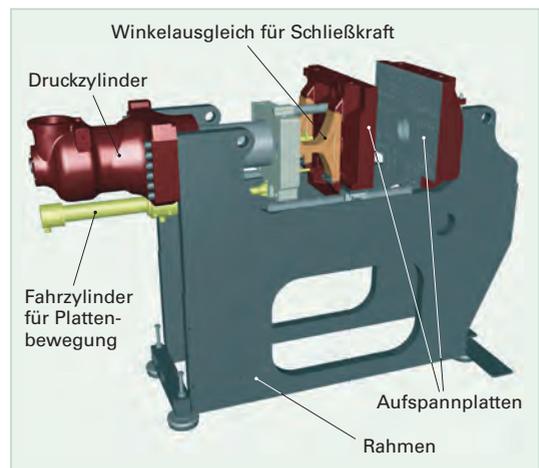


Bild 3: Holmenlose Maschine

Obwohl ihre Schließkräfte zur Zeit nach oben hin begrenzt sind und sie im Allgemeinen bis zu 30 % höhere Anschaffungskosten verursachen, haben diese „vollelektrischen Spritzgießmaschinen“ (Bild 1) folgende Vorteile:

- Sehr präzise und zuverlässige Arbeitsweise mit hoher Wiederholgenauigkeit bei schneller Bewegung
- Sehr gute Prozess- und Maschinenregelung
- Reinraumtauglich und geräuscharm
- Energieeinsparung bis zu 50 %
- Leistung sofort verfügbar



Bild 1: Elektromechanisches System

■ Schließkraftberechnung

Die **Schließkraft** sollte bei Dauerbetrieb **nicht mehr als 80 %** der maximal möglichen Schließkraft der Spritzgießmaschine betragen.

Die Schließkraft wird für jedes Werkzeug berechnet und auch für jedes Werkzeug neu eingestellt. Die **Schließkraft** ist die Kraft, mit der die Spritzgießmaschine das Spritzgießwerkzeug zusammendrückt.

Eine zu **niedrige Schließkraft** führt zu:

- Gratbildung am Werkstück
- Dickeren Wandstärken und damit zur Gewichtszunahme
- Beschädigungen in der Trennebene

Eine zu **hohe Schließkraft** führt zu:

- Schlechter Entlüftung des Werkzeuges
- Werkzeugschäden
- Erhöhtem Energieverbrauch

$$F = 1,2 \cdot A_p \cdot p$$

Schließkraft = projizierte Spritzteilfläche · Werkzeuginnendruck

Die projizierte Spritzteilfläche kann anhand einer Zeichnung oder eines Formteiles berechnet werden (Bild 2).

Dazu wird die Werkstückfläche senkrecht zur Trennebene überschlagsmäßig ausgerechnet. Liegen der Anguss und der Verteilerkanal in der Trennebene, werden ihre projizierten Flächen mit zur Werkstücksfläche hinzugerechnet.



Bild 2: Projizierte Spritzteilfläche
Zugprüfstab mit Anguss in der Trennebene

Der **spezifische Spritzdruck** (Druck vor der Schneckenspitze) wird über den Hydraulikdruck und den Schnecken­durchmesser ermittelt, oder er kann direkt an der Maschine eingegeben werden.

Wird die thermoplastische Kunststoffmasse ins Werkzeug gespritzt, so nimmt der Spritzdruck stetig bis zum Ende des Fließweges ab (**Bild 1**). Auch das Abkühlen der Masse führt zu Druckverlusten.

Der gemessene Werkzeuginnen­druck wird nie mit dem **Werkzeugauf­treibdruck** gleich­gesetzt, da der durch den Werkzeuginnen­druck­aufnehmer gemessene Wert die Druck­verhältnisse nur an einer Stelle im Werkzeug wiedergibt.

Deswegen rechnet man in der Praxis mit einem angenom­menen Werkzeuginnen­druck, dem Werkzeugauf­treibdruck (**Tabelle 1**).

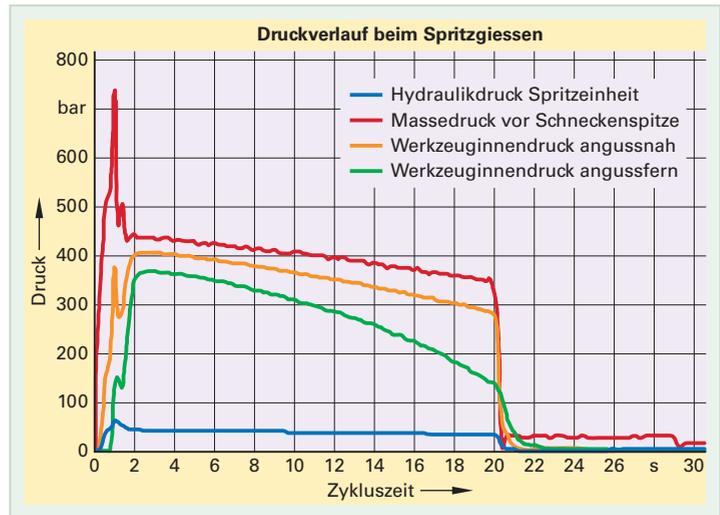


Bild 1: Druckprofil im Werkzeug angussnah und angussfern

Tabelle 1: Werkzeugauf­treibdrücke	
Material	Werkzeugauf­treibdruck in N/cm ²
Thermoplaste allgemein	3000 ... 3500
Thermoplast anspruchslos, dickwandig z. B. PE, PP	2500 ... 3000
Thermoplast bei technischen Teilen	3500 ... 4000
Duromere	4500 ... 5000
Elastomere	4500 ... 5000

Die Auftreibdrücke von **4000 N/cm²** bis **5000 N/cm²** kommen der Realität im Werkzeug am Nächsten. Bei niedrigviskosen Schmelzen (z. B. PA) können allerdings Auftreibdrücke bis zu 10000 N/cm² entstehen.

Beispiel:

Die Schließkraft (F_S) für ein Spritzteil mit 25 cm² projizierter Spritzfläche ist zu berechnen! Für dieses technische Teil ist POM als Material vorgegeben.

$$F_S = A_p \cdot p$$

Lösung: $F_S = 25 \text{ cm}^2 \cdot 4000 \text{ N/cm}^2$

$$F_S = 100 \text{ kN} + 10 \% \text{ Sicherheit}$$

Die einzustellende Schließkraft beträgt 110 kN.

Wiederholungsfragen:

1. Welche Verarbeitungsparameter können Sie an einer Spritzgussmaschine einstellen?
2. Beschreiben Sie den Zyklusablauf, beginnend mit dem Werkzeugschließen!
3. Welche Aufgaben erfüllt die Schließeinheit einer Spritzgießmaschine?
4. Unterscheiden Sie das Kniehebelsystem vom direkt-hydraulischen System!

Zuhaltekraft

Die Zuhaltekraft ist die Summe aller Kräfte, die während des Einspritz- und Nachdruckvorganges auf die Maschinensäulen (Holme) wirken (**Bild 1**).

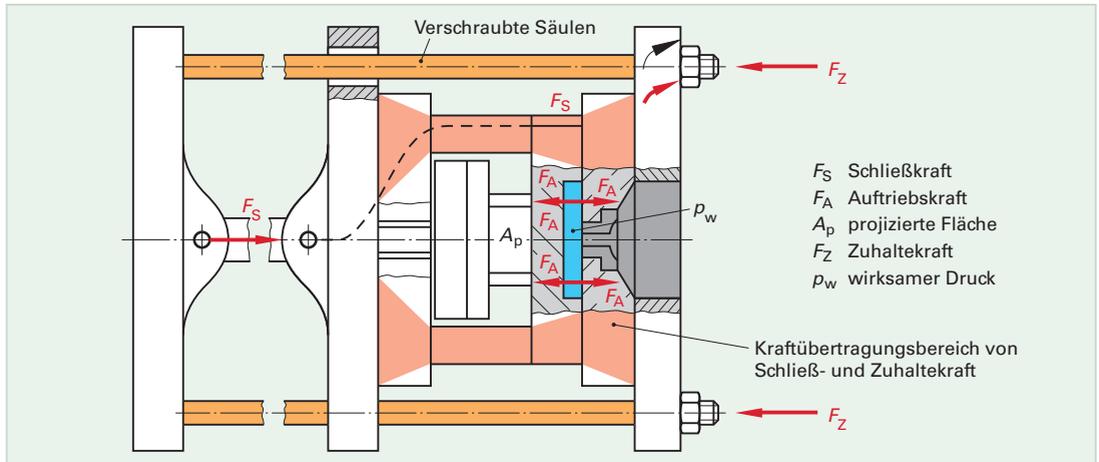


Bild 1: Kniehebel-Schließeinheit

Die **Zuhaltekraft** ist abhängig von der:

- maximalen Auftriebskraft im Werkzeug,
- Art des Schließsystems,
- Steifigkeit der Schließeinheit und des Werkzeuges.

Damit die Spritzgussform geschlossen bleibt, muss die Zuhaltekraft immer größer sein als die Schließkraft.

Eine Überprüfung der aufgebrachtten Schließkraft beim Wiederanfahren sowie bei der laufenden Produktion wird durch die Messung der **Säulendehnung** ermöglicht.

Die Maschine drückt beim Aufbringen der Schließkraft das Werkzeug um einen bestimmten Betrag zusammen, während sich die Maschinensäulen um einen bestimmten Betrag dehnen. Eine Maschine mit Kniehebel hat dann die größtmögliche Schließkraft erreicht, wenn der Schließzylinder den Kniehebel gerade noch durchdrücken kann. Bei einer hydraulischen Schließeinheit muss der maximale Druck im Schließzylinder anstehen, um die größte Schließkraft zu erhalten.

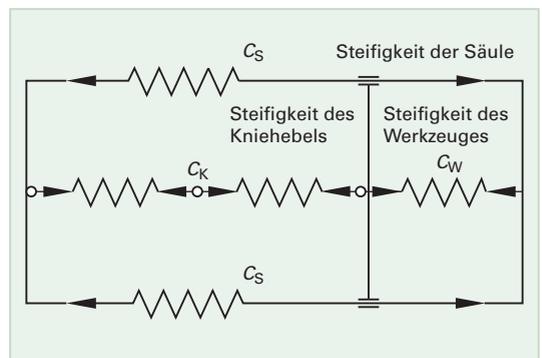


Bild 2: Kniehebel-Schließeinheit als Federkonstanten veranschaulicht

Ein wichtiger Kennwert für jede Maschine ist ihre Steifigkeit. Die Steifigkeit gibt an, mit welcher Kraft man die Maschine belasten muss, um sie um **einen mm zu dehnen**. Die **Steifigkeit der Maschine** muss auf jeden Fall geringer sein als die des Werkzeuges (c_w), da sich sonst das Werkzeug unter der Schließkraft mehr staucht als sich die Maschine dehnt. Das hätte zur Folge, dass die nötige Schließkraft nicht aufgebracht werden kann. Natürlich ist es auch möglich, die Steifigkeit von Maschine und Werkzeug zu berechnen. Man stellt sich für die Berechnung die Maschine und das Werkzeug als ein System von Federn vor (**Bild 2**), berechnet die einzelnen Federkonstanten und fasst dann zusammen.

Beim Einspritzen in das Werkzeug versucht der Werkzeugauftriebdruck, das Werkzeug auseinanderzudrücken, während **die Maschinenholme** weiter gedehnt werden.

Die **Auftreibkraft**, verursacht durch den Druck der einfließenden Schmelze, wird vom Werkzeug und von der Maschine aufgenommen.

Die Zuhaltekraft ergibt sich also erst **während** der Einspritz- bzw. Nachdruckphase und ist nicht nur abhängig von der Schließkraft und der tatsächlichen Werkzeugauftriebkraft, sondern auch von den Steifigkeiten vom Werkzeug und von der Maschine (**Bild 1**).

Je steifer die Maschine und je steifer das Werkzeug dargestellt durch die Winkel α und β ist, desto höher kann die Auftreibkraft sein, ohne dass sich ein Grat bildet.

Rein theoretisch könnte die Restklemmkraft Null sein und damit die Werkzeugauftriebkraft gleich der Zuhaltekraft. Aber kein Werkzeug ist in der Trennebene und auf den Durchschlagsflächen ideal eben und parallel, sodass immer eine bestimmte Kraft notwendig ist, um das Werkzeug dicht zusammenzudrücken. Wird **diese Kraft unterschritten**, kann es an bestimmten Partien zur Gratbildung kommen. Die **Freiarbeitung** der Trennebene ermöglicht eine hohe Flächenpressung.

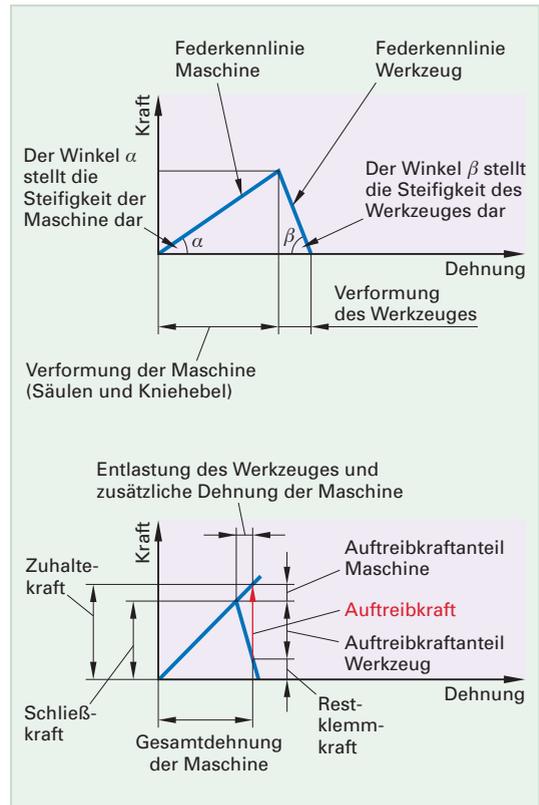


Bild 1: Schließkraftdiagramm

■ Richtwerte für die Abdichtungskraft:

- Einfache Werkzeuge, ohne Schieber und mit wenigen Durchschlägen (Öffnungen) bis 10 % der Schließkraft.
- Werkzeuge mit einer geringen Anzahl von Schiebern und Durchschlägen bis 20 % der Schließkraft.
- Komplizierte Werkzeuge mit einer großen Anzahl von Schiebern oder mit vielen Durchschlägen (z. B. 100 Bohrungen im Teil) bis 30 % der Schließkraft.

Wird ein Werkzeug durch die Auftreibkraft verformt (**Bild 2**), so können Stützrollen und größere Plattensteifigkeit Abhilfe schaffen (**Bild 3**).

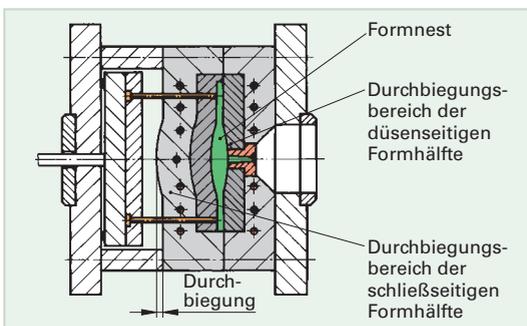


Bild 2: Durchbiegung von Formplatten

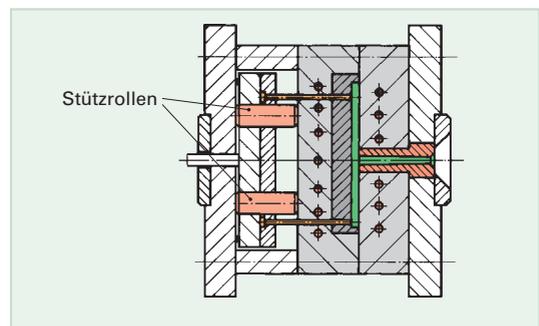


Bild 3: Stützrollen