



EUROPA-FACHBUCHREIHE
Verfahrenstechnik der Kunststoffberufe

Fachkunde

Kunststofftechnik

6. erweiterte und verbesserte Auflage

Erarbeitet von Lehrern an beruflichen Schulen

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

Europa-Nr.: 13802

Autoren:

Die Autoren sind Fachlehrer der technischen Ausbildung.

Fritsche, Cornelia	Dipl.-Ing.-Päd., Studienrätin	Massen
Fritsche, Hartmut	Dipl.-Ing. (FH)	Massen
Gradl, Werner	Ing. BEd.	Wartberg, Österreich
Kolbinger, Jörg	Dipl.-Ing. (FH), Studiendirektor	Windelsbach
Küspert, Karl-Heinz	Fachoberlehrer	Hof
Lindenblatt, Gerhard	Fachoberlehrer	Wunsiedel
Morgner, Dietmar	Dipl.-Ing.-Päd.	Chemnitz
Schmidt, Albrecht	Fachoberlehrer	Selbitz
Schwarze, Frank	Dipl.-Ing.-Päd., Studienrat	Sonneberg

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 Chemieerberufe“, „Zerspanentechnik Fachbildung“ sowie „Fachkunde Mechatronik“

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

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

6. Auflage 2019

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 978-3-8085-1669-0

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

© 2019 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlagfoto: Coperion Werner & Pfeleiderer GmbH & Co. KG

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Druck: optimal media GmbH, 17207 Röbel/Müritz

Vorwort zur 6. Auflage

Die im Verlag **Europa-Lehrmittel** überarbeitete **Fachkunde Kunststofftechnik** ist sowohl für die Ausbildung des Facharbeiternachwuchses in der Kunststofftechnik der Bundesrepublik Deutschland sowie für die Lehrberufe Kunststofftechnik/Kunststoffformgebung in Österreich als auch zur Fort- und Weiterbildung in der Meister- und Technikerausbildung 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 22. März 2012,
- Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz und
- Lehrplänen der einzelnen Bundesländer

ableiten, sind für die Auszubildenden die theoretische Grundlage für den Ausbildungsberuf **Verfahrensmechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik/Verfahrensmechanikerin für Kunststoff- und Kautschuktechnik**.

Basierend auf diesen verbindlichen Vorgaben wurde dieses Fachbuch von erfahrenen Berufsschullehrern aus verschiedenen Einrichtungen erarbeitet.

In der 6. Auflage wurden die Themen Industrie 4.0 und die Toleranzen und Abnahmebedingungen für Kunststoffformteile nach DIN 16742:2013-10 neu hinzugefügt. Die Themen Elastomere, Duroplaste, die Sensor- und Vakuumtechnik, Werkzeugaufspannung und Rückstromsperren, sowie Wirkungsweisen von Extrudern wurden in den entsprechenden Kapiteln erweitert bzw. ergänzt.

Die beiliegende CD enthält alle Abbildungen und die wichtigsten Tabellen des Buches.

Ergänzend für den theoretischen Unterricht mit praxisorientierten Lernsituationen ist der Einsatz weiterer Fachbücher und Arbeitsunterlagen des Verlages sinnvoll, wie z. B.:

Tabellenbuch Kunststofftechnik, Arbeitsblätter Kunststofftechnik Lernfelder 1 bis 4 und 5 bis 8 und PRÜFUNGSBUCH AKTUELL der Kunststofftechnik.

Der Verlag und die Autoren der Fachkunde Kunststofftechnik sind für Anregungen und kritische Hinweise, die der Verbesserung der folgenden Auflagen dienen, dankbar. Verbesserungsvorschläge können dem Verlag und somit dem Autorenteam über

lektorat@europa-lehrmittel.de übermittelt 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.

Interpretation zu Inhalt und der Zuordnung der Lernfelder

Die Gliederung der Inhalte dieses Lehrbuchs wurde auf den Rahmenlehrplan vom 22.03.2012 für Verfahrensmechaniker der Kunststoff- und Kautschuktechnik im berufsbezogenen Unterricht der Berufsschulen abgestimmt. Die untenstehende Tabelle zeigt die Zuordnung der einzelnen Kapitel zu den Lernfeldern. Die gemeinsamen Grundlagen bei der Ausbildung in der Kunststoff- und Kautschuktechnik stellen die Lernfelder 1 bis 8 in der 1. und 2. Jahrgangsstufe dar. Die Spezialisierung in der 3. Jahrgangsstufe wird durchgeführt in den Fachrichtungen Formteile (**FT**), Halbzeuge (**HZ**), Compound- und Masterbatchherstellung (**CM**), Mehrschicht-Kautschukteile (**MK**), Bauteile (**BT**), Faserverbundstoffe (**FV**) und Kunststofffenster (**KF**).

Lernfelder			Kapitel im Lehrbuch
1. Jahr	1	Werkstoffe nach anwendungsbezogenen Kriterien auswählen	1
	2	Bauelemente aus berufsbezogenen Werkstoffen herstellen	2
	3	Einfache Baugruppen herstellen	3, 7, 15
	4	Anlagenbezogene Steuerungstechniken anwenden	4, 5
2. Jahr	5	Fertigungsvoraussetzungen für die Polymerverarbeitung schaffen	6
	6	Werkzeuge, Maschinen und Zusatzgeräte instand halten	4
	7	Eigenschaften von polymeren Werkstoffen prüfen und analysieren	3
	8	Steuerungstechnische Systeme für die Be- und Verarbeitung von Polymeren anwenden und prüfen	5
3. Jahr	FT	9 Formteile durch Spritzgießen herstellen	7
		10 Formteile durch Pressen herstellen	8
		11 Formteile durch Blasformen herstellen	9
		12 Formteile durch Schäumen herstellen	10
		13 Formteile durch Thermoformen herstellen	15
		14 Produkt- und Prozessqualität überwachen und optimieren	3
	HZ/CM	9 Halbzeuge durch Extrudieren herstellen	11
		10 Halbzeuge durch Kalandrieren herstellen	12
		11 Halbzeuge durch Beschichten herstellen	13
		12 Compounds und Masterbatches herstellen	6
		13A Halbzeuge durch Schäumen herstellen	10
		13B Compounds und Masterbatches herstellen, prüfen und modifizieren	6
	MK	14 Produkt- und Prozessqualität überwachen und optimieren	3
		9 Halbzeuge für Mehrschicht-Kautschukteile herstellen	14
		10 Mehrschicht-Kautschukteile durch Pressen herstellen	14
		11 Mehrschicht-Kautschukteile durch ausgewählte Verfahren herstellen	14
		12 Mehrschicht-Kautschukteile prüfen und recyceln	3
		13 Produkt- und Prozessqualität überwachen und optimieren	3
	BT	9 Fertigungsvoraussetzungen für Bauteile schaffen	2
		10 Bauteile durch Bearbeiten von Halbzeugen schaffen	15
		11 Produkte durch Fügen schaffen	3, 15
		12 Produkte durch Laminieren schaffen	16
		13 Produkt- und Prozessqualität überwachen und optimieren	3
	FV	9 Faserverbundwerkstoffe prüfen und recyceln	3
		10 Bauteile durch Bearbeiten von Faserverbundwerkstoffen schaffen	2, 16
		11 Produkte durch Fügen herstellen	2, 15
		12 Bauteile durch Laminieren schaffen	16
		13 Produkt- und Prozessqualität überwachen und optimieren	3
	KF	9 Fertigungsvoraussetzungen für Kunststofffenster schaffen	18
		10 Bauteile durch Bearbeiten von Halbzeugen schaffen	2, 15
		11 Produkte durch Fügen schaffen	2, 15
		12 Bauelemente montieren, demontieren und instand setzen	18
		13 Produkt- und Prozessqualität überwachen und optimieren	3

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 Duroplasten	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 Anwendungen	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	93
1.2.4	Handelsformen der Stähle	35	1.7.5	Duroplaste	96
1.2.5	Wärmebehandlung von Stählen	36	1.7.6	Biokunststoffe	103
1.2.6	Normung der Eisen-Werkstoffe	37	1.8	Verstärkungsstoffe	107
1.2.7	Nichteisenmetalle	39	1.8.1	Verbundwerkstoffe	107
1.2.8	Verbundstoffe	40	1.8.2	Verstärkungsfasern	108
1.3	Chemische Grundlagen	41	1.8.3	Bauformen der Fasern (Roving)	108
1.3.1	Aufbau der Atome	41	1.8.4	Faserhalbzeuge	109
1.3.2	Das Periodensystem der Elemente	42	1.8.5	Vorimprägnierte Halbzeuge	109
1.3.3	Aufbau der Moleküle	44	1.9	Zuschlag- und Hilfsstoffe	110
1.3.4	Chemische Formeln	47	1.9.1	Anforderungen an Additive	110
1.3.5	Organische Kohlenwasserstoffe	48	1.9.2	Additive für Thermoplaste und Duroplaste	110
1.4	Bildung von Makromolekülen	52	1.9.3	Additive für Kautschuke	112
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	114	2.3	Fertigungshauptgruppen	143
2.1.1	Grundbegriffe	114	2.3.1	Verfahren der Fertigungshauptgruppen	145
2.1.2	Messabweichungen	116	2.4	Berechnungen zur Fertigungs- und Prüftechnik	179
2.1.3	Toleranzen und Passungen	117	2.4.1	Berechnungen zur Prüftechnik	179
2.2	Aufbau, Funktion und Anwendung von Prüfmitteln	128	2.4.2	Berechnungen zur Fertigungstechnik	181
2.2.1	Längenprüfmittel	128	2.5	Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes	185
2.2.2	Lehren	136	2.5.1	Sicherheitszeichen EN ISO 7010:2012-10	185
2.2.3	Winkelprüfgeräte	137	2.5.2	Sicherheitsmaßnahmen	186
2.2.4	Oberflächenprüfmittel	138	2.6	Umweltschutzvorschriften	187
2.2.5	Farb- und Glanzprüfung	141	2.7	Industrie 4.0	188
2.2.6	Gewichts-, Dichte- und Feuchtigkeitsprüfung	142			

3 Verarbeitung und Prüfung von Kunststoffen

3.1	Qualitätsmanagement	190	3.3	Recycling	201
3.1.1	Qualitätsregelkreis	191	3.3.1	Werkstoffliches Recycling	201
3.1.2	Methoden des Qualitätsmanagements	191	3.3.2	Rohstoffliches Recycling	203
3.1.3	Statistische Verfahren des Qualitätsmanagements	194	3.3.3	Thermische Verwertung	203
3.2	Qualitätssicherungsmaßnahmen	199	3.4	Werkstoffprüfverfahren der Kunststofftechnik	204
3.2.1	Qualitätssichernde Elemente	199	3.4.1	Kunststofferkenennung	205
3.2.2	Lieferantenbewertung	199	3.4.2	Rieselfähigkeit	209
3.2.3	Kundenzufriedenheit	199	3.4.3	Roh- und Schüttdichte	211
3.2.4	Produkthaftung	200	3.4.4	Härteprüfungen	213

3.4.5	Feuchteprüfung	215	3.4.8	Schlag- und Kerbschlagprüfung	218
3.4.6	Schmelzindex (MFR)/(MVR) nach DIN ISO 1133-1:2012-03	216	3.4.9	Formbeständigkeit in der Wärme	219
3.4.7	Zugprüfung, E-Modul	217	3.4.10	Infrarotspektalanalyse	220
			3.4.11	Spannungsoptik	221

4 Maschinentechnische Grundfunktionen an kunststoffverarbeitenden Maschinen

4.1	Systemanalyse	222	4.5.1	Welle-Nabe-Verbindungen	243
4.2	Antriebseinheiten	224	4.5.2	Schraubverbindungen	246
4.2.1	Elektromotor	224	4.5.3	Stiftverbindungen	248
4.2.2	Hydromotor	224	4.5.4	Nietverbindungen	249
4.2.3	Druckluftmotor	225	4.6	Begriffe und Größen der Elektrotechnik	250
4.3	Übertragungseinheiten	226	4.6.1	Grundkenntnisse	250
4.3.1	Wellen	226	4.6.2	Die elektrische Spannung	250
4.3.2	Achsen	226	4.6.3	Der elektrische Strom	251
4.3.3	Zapfen	227	4.6.4	Der elektrische Widerstand	252
4.3.4	Kupplungen	228	4.6.5	Das Ohm'sche Gesetz	253
4.3.5	Riementriebe	232	4.6.6	Schaltung von Widerständen	254
4.3.6	Kettentriebe	233	4.6.7	Die elektrische Arbeit und Leistung	255
4.3.7	Zahnradtriebe	234	4.7	Eigenschaften und Anwendung von Energieträgern	256
4.3.8	Getriebe	235	4.8	Gefahren des elektrischen Stroms	256
4.4	Stütz- und Trageinheiten	238	4.9	Instandhaltung	258
4.4.1	Gehäuse und Gestelle	238	4.9.1	Wartung	259
4.4.2	Lager	239	4.9.2	Inspektion	261
4.4.3	Führungen	241	4.9.3	Instandhaltungsstrategien	261
4.5	Verbindungseinheiten	243			

5 Steuerungs- und Regelungstechnik

5.1	Steuerungs- und Regelungsvorgänge	264	5.4.2	Hydraulikflüssigkeiten und Bauteile	292
5.1.1	Der automatische Prozess	264	5.5	Elektropneumatische Steuerungen	298
5.1.2	Grundlagen der Steuerungstechnik	265	5.5.1	Elektrische Signaleingabeelemente	298
5.1.3	Grundlagen der Regelungstechnik	267	5.5.2	Relais, Schütze und Magnetventile	299
5.1.4	Bauelemente von Steuerungen	269	5.5.3	Grundsaltungen	300
5.1.5	Darstellungsformen von Steuerungen	274	5.6	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	304
5.2	Pneumatische Anlagen	277	5.6.1	Aufbau einer SPS	304
5.2.1	Druckluftzeugung	277	5.6.2	Arbeitsweise und Programmierung einer SPS	305
5.2.2	Ventile	281	5.6.3	Programmieren einer Verknüpfungs- bzw. Ablaufsteuerung	308
5.3	Steuerungen entwerfen	286	5.7	Handhabungseinrichtungen	309
5.3.1	Gegenüberstellung der Vorteile und Nachteile der Pneumatik	286	5.7.1	Einteilung von Handhabungs- einrichtungen	309
5.3.2	Aufbau von Schaltplänen	286	5.7.2	Funktionseinheiten und die Pro- grammierung von Industrierobotern	310
5.3.3	Bezeichnung der Bauteile und pneumatische Grundsaltungen	287	5.7.3	Besonderheiten und Schutz- vorkehrungen bei Industrierobotern	312
5.3.4	Signalüberschneidungen	289			
5.4	Hydraulische Steuerungen	292			
5.4.1	Gegenüberstellung der Vorteile und Nachteile der Hydraulik	292			

6 Fertigungsspezifische Vor- und Nachbehandlungsmaßnahmen

6.1	Vor- und Aufbereitungsmaßnahmen	314	6.1.7	Trocknung	326
6.1.1	Zerkleinern	314	6.1.8	Lagerung und Transport	328
6.1.2	Mischen	317	6.2	Nachbehandlungsmaßnahmen	330
6.1.3	Plastifizieren	319	6.2.1	Tempern	330
6.1.4	Granulieren	321	6.2.2	Konditionieren	331
6.1.5	Masterbatch	324	6.2.3	Oberflächenvorbehandlung	331
6.1.6	Compoundierung	325	6.2.4	Oberflächenveredelung	334

7 Herstellen von Formteilen durch Spritzgießen

7.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	339	7.2.3 Werkzeugarten	366
7.1.1 Arbeitsstellungen der Maschine	340	7.2.4 Werkzeugtemperierung	369
7.1.2 Zyklusablauf bei der Thermoplastverarbeitung	341	7.2.5 Werkzeugentlüftung	371
7.1.3 Verarbeitungsparameter	342	7.2.6 Entformung	372
7.1.4 Schließereinheit	343	7.3 Fertigungsverfahren	377
7.1.5 Spritzeinheit	354	7.3.1 Spritzgießen von Thermoplasten	377
7.2 Aufbau von Spritzgießwerkzeugen	360	7.3.2 Spritzgießen von Elastomeren	383
7.2.1 Angussysteme	361	7.3.3 Spritzgießen von Duroplasten (Duromeren)	385
7.2.2 Angussformen	362	7.3.4 Sonderverfahren	387
		7.4 Spritzgießfehler	400

8 Herstellen von Formteilen durch Pressen

8.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	404	8.2 Pressen und Pressautomaten	419
8.1.1 Formpressen	404	8.2.1 Nachbearbeiten von Formteilen	421
8.1.2 Spritzpressen	412	8.2.2 Sonderverfahren zur Verarbeitung von Formmassen	422
8.1.3 Presswerkzeuge	414		
8.1.4 Fehler und ihre Ursachen beim Verarbeiten von Formmassen	418		

9 Herstellen von Formteilen durch Blasformen

9.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	424	9.2.3 Formentlüftung	441
9.1.1 Plastifiziereinheit	427	9.2.4 Formkühlung	442
9.1.2 Schlauchköpfe	428	9.2.5 Formunterbau	442
9.1.3 Wanddickensteuerung	432	9.2.6 Entformungshilfen	443
9.1.4 Schließereinheit	434	9.2.7 Zusatzeinrichtungen	443
9.1.5 Schlauchtrennvorrichtung	435	9.3 Fertigungsverfahren	444
9.1.6 Blasstation	436	9.3.1 Verfahren mit kontinuierlichem Schlauchaustritt	444
9.1.7 Nachfolgestationen	438	9.3.2 Verfahren mit diskontinuierlichem Schlauchaustritt	446
9.2 Aufbau von Blaswerkzeugen	439	9.3.3 Streckblasen und Spritzblasen	448
9.2.1 Werkstoffe	439	9.3.4 Bottlepack-Verfahren	449
9.2.2 Trennkanten	440		

10 Herstellen von Formteilen und Halbzeugen durch Schäumen

10.1 Allgemeines über Schäume	450	10.3 Schäume aus reaktionsfähigen flüssigen Ausgangskomponenten	461
10.2 Schäume aus blähfähigen Einzelteilen	452	10.3.1 PUR-Schaum	461
10.2.1 Expandierfähiges Polystyrol EPS	452	10.3.2 Melaminharzschaumstoff	469
10.2.2 Expandierfähiges Polypropylen EPP	458		

11 Herstellen von Halbzeugen durch Extrudieren

11.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	470	11.2.6 Glattrohretruder (Konventioneller Extruder)	480
11.1.1 Aufbau einer Extrusionsanlage	471	11.2.7 Nutbuchsenextruder (Extruder mit genuteter Einzugsbuchse)	482
11.1.2 Aufgaben des Extruders	471	11.3 Doppelschneckenextruder	483
11.1.3 Extruderbauarten	472	11.3.1 Gleichläufiger Doppelschneckenextruder (Gleichläufer)	483
11.2 Einschneckenextruder	472	11.3.2 Gegenläufiger Doppelschneckenextruder (Gegenläufer)	486
11.2.1 Extruderschnecken	473	11.3.3 Planetwalzenextruder	488
11.2.2 Plastifizierzylinder	476		
11.2.3 Einfülltrichter, Förder- und Mischgeräte	480		
11.2.4 Antriebseinheit	480		
11.2.5 Temperiersystem	480		

11.4 Extrusionswerkzeuge	489	11.5 Nachfolgeeinrichtungen	496
11.4.1 Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt	489	11.6 Produktionslinien	498
11.4.2 Profilwerkzeuge	493	11.6.1 Blasfolienanlagen	498
11.4.3 Flachfolien- und Plattenwerkzeuge	494	11.6.2 Flachfolienanlage	501
11.4.4 Coextrusionswerkzeuge für Thermoplaste	495	11.7 Fehler an Extrudaten	503

12 Herstellen von Halbzeugen durch Kalandrieren

12.1 Systemanalyse der Kalandieranlage und des Prozesses	504	12.3.4 Abzugs-, Kühl- und Aufwickel-einrichtung	512
12.2 Kalandrierbare Kunststoffformmassen	505	12.4 Nachbehandlung	512
12.3 Aufbau der Kalandersstraße	505	12.5 Besonderheiten beim Kalandrieren von Kautschuk	513
12.3.1 Materialaufbereitung beim Kalandrieren	506	12.5.1 Kalandrierbare Kautschuke	513
12.3.2 Die Kalandereinheit	507	12.5.2 Besonderheiten der Kalandereinheit	514
12.3.3 Der Kalandriervorgang bei Thermoplasten	508		

13 Herstellen von Halbzeugen durch Beschichten

13.1 Beschichten mit fließfähigen Materialien	516	13.3.1 Hotmelt-Kaschierung	526
13.1.1 Trägerstoffe	516	13.4 Beschichten aus der Schmelze	526
13.1.2 Beschichtungsmassen	517	13.5 Oberflächenbehandlung beschichteter Trägerbahnen	528
13.1.3 Arbeitsablauf von PVC-Beschichtungsverfahren	518	13.5.1 Prägen	528
13.1.4 Beschichtungsverfahren und -maschinen	520	13.5.2 Überfärben	529
13.2 Das Tauchverfahren und Imprägnieren	522	13.5.3 Lackieren	529
13.3 Kaschieren von Trägerbahnen	523	13.6 Umweltschutzmaßnahmen	529

14 Herstellen von Mehrschicht-Kautschukteilen

14.1 Mischen und Kneten	530	14.7.6 Nachfolgeeinrichtungen	540
14.2 Mischverfahren	531	14.8 Herstellung von Reifen	542
14.3 Der Innenmischer	532	14.8.1 Reifenherstellung mit der „Single-Stage“-Reifenaufbaumaschine	545
14.4 Das Walzwerk	535	14.8.2 Reifenheizpressen	546
14.5 Nachfolgeeinrichtungen	536	14.9 Herstellung von Keilriemen	550
14.6 Mischsaalsystem mit zentralem Innenmischer	537	14.10 Vulkanisation	553
14.7 Herstellung von Platten und gummierten Festigkeitsträgern	538	14.10.1 Grundkenntnisse zur Vulkanisation	553
14.7.1 Gummieren von Gewebe	538	14.10.2 Vulkanisationsverlauf	554
14.7.2 Skimmen	539	14.10.3 Vulkanisationsverfahren	555
14.7.3 Belegen von Stahlkord und Geweben	539	14.10.4 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren unter Druck	555
14.7.4 Profilieren	539	14.10.5 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren ohne Druck	556
14.7.5 Roller-Head-Verfahren (Extrudierverfahren)	540		

15 Herstellen von Bauteilen durch Bearbeitung von Halbzeugen

15.1 Umformverfahren	558	15.1.5 Negativformung	566
15.1.1 Werkstoffverhalten beim Umformen	559	16.1.6 Druckumformen	567
15.1.3 Biegeumformen	563	15.1.7 Spezielle Umformverfahren	568
15.1.4 Positivformung	565	15.1.8 Umformwerkzeuge	569

15.1.9	Vor- und Nachbearbeitung der Halbzeuge	570	15.3.4	Vorbehandlung der Klebeflächen	592
15.2	Schweißen von Kunststoffen	572	15.3.5	Der Klebevorgang	593
15.2.1	Grundlagen des Kunststoffschweißens	572	15.3.6	Vor- und Nachteile von Klebeverbindungen	594
15.2.2	Heizelementschweißen – Schweißen durch Wärmeleitung	574	15.4	Mechanische Verbindungen von Kunststoffen	595
15.2.3	Warmgasschweißen – Schweißen durch Konvektion	576	15.4.1	Schnappverbindungen	595
15.2.4	Schweißen durch Strahlung	580	15.4.2	Schraubverbindungen	596
15.2.5	Schweißen durch Reibung	581	15.4.3	Nietverbindungen	597
15.2.6	Schweißen durch Induktion	585	15.4.4	Steck- und Pressverbindungen	597
15.2.7	Anwendung der Schweißverfahren und Schweißsymbole	586	15.5	Elemente und Baugruppen des Behälter- und Apparatebaus	598
15.3	Kleben von Kunststoffen	587	15.5.1	Absperr-, Regel- und Sicherheitsarmaturen	598
15.3.1	Technologie des Klebens	587	15.5.2	Rohrleitungssysteme und Rohrverbindungen	599
15.3.2	Klebstoffe	588			
15.3.3	Gestaltung von Klebeverbindungen	590			

16 Herstellen von Bauteilen durch Laminieren

16.1	Werkstoffkomponenten für Faserverbundwerkstoffe	600	16.9	Formgebungsverfahren	607
16.2	Duroplastische Matrixharze	601	16.9.1	Handlaminierverfahren	607
16.3	Reaktionsmittel	602	16.9.2	Vakuumsackverfahren	609
16.4	Härtung von Reaktionsharzen	602	16.9.3	Faserharzspritzen	609
16.5	Thermoplastische Matrices	602	16.9.4	Wickelverfahren	610
16.6	Verstärkungsmaterialien	603	16.9.5	Harzinjektionsverfahren	612
16.6.1	Ausführungsformen der Verstärkungsmaterialien	604	16.9.6	Pressen	613
16.6.2	Stützkernwerkstoffe und Sandwichmaterialien	606	16.9.7	Schleudern	613
16.7	Additive	606	16.9.8	Pultrusion	614
16.8	Vor- und Zwischenprodukte	606	16.9.9	Autoklav-Verfahren	615
			16.10	Nachbearbeitung	615
			16.11	Bauteilgestaltung	615
			16.11.1	Leichtbauprinzipien	616
			16.11.2	Werkstoffgerechte Bauteilgestaltung	616
			16.12	Fügen von Bauteilen	618

17 Auskleiden und Abdichten

17.1	Auskleidewerkstoffe	620	17.2	Auskleidetechniken	623
-------------	----------------------------	------------	-------------	---------------------------	------------

18 Technik und Herstellung von Kunststofffenstern

18.1	Fenstersysteme und ihre Elemente	628	18.3	Montage und Befestigung von Fenstersystemen	650
18.1.1	Glas- und Scheibenarten	628	18.3.1	Arbeitsplan für die Montage eines unverglasten Drehkipp-Fensters	652
18.1.2	Profil- und Konstruktionsarten	634	18.3.2	Grundlagen der Bauphysik	653
18.1.3	Aufbau und Maßbezeichnungen von Fenstern	637	18.4	Reparatur und Wartung von Fenstersystemen	657
18.1.4	Fensterbeschläge	639	18.4.1	Beseitigung von Oberflächenschäden	657
18.2	Herstellung von Fensterrahmen	641	18.4.2	Wartung der Fenster	657
18.2.1	Profilzuschnitt und -bearbeitung	643			
18.2.2	Verbinden der Profilzuschnitte	645			
18.2.3	Klotzung und Dichtung der Scheibe	647			

Fachwörterbuch Deutsch – Englisch, Sachwortverzeichnis	658
Professional-Dictionary English – German, Index	672

Firmenverzeichnis	686
--------------------------	------------

Aufbau und Eigenschaften der Werkstoffe

Der Begriff „**Werkstoff**“ beinhaltet alle Materialien, die in eine **bestimmte** Form gebracht werden können und für den **technischen** Gebrauch geeignet sind. Der angehende Facharbeiter in der Kunststofftechnik hat tagtäglich mit einer Vielzahl von **Kunststoffen**, aber auch mit einer Reihe **metallischer** Werkstoffe zu tun. Aus diesem Grund ist es für ihn von grundlegender Bedeutung, die wichtigen Eigenschaften dieser Werkstoffe zu kennen. Für das bessere Verständnis ist es notwendig, zuerst einige Grundlagen aus der **Physik** und der **Chemie** zu betrachten.

1.1 Physikalische Grundlagen

Die Naturwissenschaft **Physik** leitet sich ab von dem griechischen Wort „*physis*“ – der Körper. Sie beschäftigt sich mit den **Eigenschaften** unbelebter Körper und den **Vorgängen**, die die Lage, den Zustand oder die Form von Körpern verändern. Bei **physikalischen Vorgängen** bleibt der Stoff **unverändert**.

1.1.1 Grundbegriffe

Um die **Eigenschaften** von Körpern physikalisch zu beschreiben, bedarf es bestimmter **Messverfahren** und vorher festgelegter **Einheiten**. Solche **quantitativ** erfassbaren Eigenschaften bezeichnet man als **physikalische Größen**, wie z. B. die Masse oder die Dichte. Sie geben an, wie oft eine Einheit in der Größe vorkommt.

**Physikalische Größe =
Zahlenwert · Einheit**

So beträgt z. B. die Masse eines Körpers:

$$m = 3 \cdot 1 \text{ kg} = 3 \text{ Kilogramm}$$

Angaben von physikalischen Eigenschaften **ohne** Einheit machen somit keinen Sinn. Die Einheiten sind im **internationalen Einheitensystem (SI-Einheiten)** festgelegt. Hierin sind die **Basisgrößen** mit ihren **Basiseinheiten** und ihrem **Formelzeichen** vermerkt (**Tabelle 1**).

Alle weiteren Größen und Einheiten können hieraus **abgeleitet** werden, z. B. die Geschwindigkeit oder die Dichte.

Um sehr kleine bzw. sehr große Angaben physikalischer Größen überschaubarer zu machen, verwendet man für das Vielfache bzw. Teile der Basiseinheiten griechische Vorsatzzeichen oder entsprechende **Zehnerpotenzen** (**Tabelle 2**).

Beispiel: 1 Millionstel Meter = $10^{-6} \text{ m} = 1 \mu\text{m}$

Typische **physikalische** Vorgänge sind z. B. das **Schmelzen** oder **Verdampfen** eines Stoffes, bei denen sich nur die **Form** bzw. der **innere Zusammenhalt** des Stoffes verändert. Auch Fertigungsverfahren wie Sägen, Bohren, Gießen oder Biegen verändern den Stoff selbst **nicht**. **Stoffänderungen** bewirken nur **chemische** Vorgänge, wie z. B. die Verbrennung von Holz, die Korrosion von Eisen oder die Herstellung von Kunststoffen aus Erdöl.

Tabelle 1: Basisgrößen und Basiseinheiten

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit
Länge	l	1 Meter = 1 m
Masse	m	1 Kilogramm = 1 kg
Zeit	t	1 Sekunde = 1 s
Temperatur	T ϑ/t	1 Kelvin = 1 K 1 Grad Celsius = 1 °C
Elektrische Stromstärke	I	1 Ampere = 1 A
Lichtstärke	I_V	1 Candela = 1 cd
Stoffmenge	n	1 Mol

Tabelle 2: Vorsatzzeichen der Basiseinheiten

Faktor	Zehnerpotenz	Vorsatz	Vorsatzzeichen
Millionenfach	10^6	Mega	M
Tausendfach	10^3	Kilo	k
Hundertfach	10^2	Hekto	h
Zehnfach	10^1	Deka	da
Basiseinheit	$10^0 = 1$		
Zehntel	10^{-1}	Dezi	d
Hundertstel	10^{-2}	Zenti	c
Tausendstel	10^{-3}	Milli	m
Millionstel	10^{-6}	Mikro	μ

1.1.2 Masse und Gewichtskraft

Bei der Herstellung von Spritzgussprodukten werden die hergestellten Teile häufig gewogen. So kann man beispielsweise sehr einfach Gutteile von Ausschussteilen unterscheiden. Dazu wird oft eine **Waage** eingesetzt, die mit einem Förderband ausgerüstet ist. Auch zur Optimierung des Spritzgussprozesses werden meist Präzisionswaagen (**Bild 1**) eingesetzt, weil mit ihnen komplizierte Bauteile ohne großen Aufwand gewogen werden können. Beim Wiegen muss man grundsätzlich die Masse und die Gewichtskraft unterscheiden. Der in der Alltagssprache häufig verwendete Ausdruck **Gewicht** kann sowohl die Masse als auch die Gewichtskraft meinen. In der Technik sollte dieser Begriff vermieden werden, denn während die **Masse** ortsunabhängig ist, ist die **Gewichtskraft** nicht an jedem Ort gleich. Eine Messung am Standort A führt also bei der Gewichtskraft am Standort B zu anderen Ergebnissen, bei der Masse hingegen sind die Ergebnisse für den Standort A und B identisch. Im Folgenden wird die Unterscheidung von Masse und Gewichtskraft ausführlich erklärt.



Bild 1: Präzisionswaagen

■ Die Masse m

Mit der Masse ist die Stoffmenge eines Körpers gemeint. Sie wird grundsätzlich durch den Vergleich mit Masseinheiten bestimmt. Dazu kann man eine **Balkenwaage** oder eine **Hebelwaage** (**Bild 2**) verwenden. Hebelwaagen werden häufig zur Bestimmung der Masse von Sportlern eingesetzt, um die korrekte Einteilung der Gewichtsklassen an jedem Ort der Welt sicherzustellen.

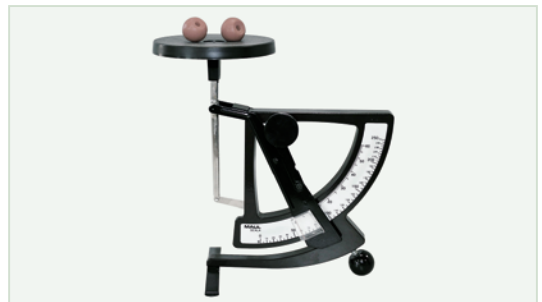


Bild 2: Hebelwaage

Die Basiseinheit der **Masse** (m) ist das **Kilogramm** (kg).

Im metrischen System war das Kilogramm zunächst als die Masse definiert, die ein Kubikdezimeter reines Wasser bei 4 °C hat (Temperatur der maximalen Dichte von Wasser). Hierzu wurde ein Zylinder aus der besonders haltbaren Legierung **Platin-Iridium** (Höhe und Durchmesser betragen 39 mm) mit derselben Masse hergestellt – das sogenannte **Ur-Kilogramm**. Die Physikalisch-Technische-Bundesanstalt (PTB) hat diese Definition weiter entwickelt: ab Mai 2019 wird das Kilogramm auf **Naturkonstanten** wie die Atommasse einer Siliziumkristall-Kugel (**Bild 3**) zurückgeführt und damit nicht mehr auf eine Maßverkörperung.

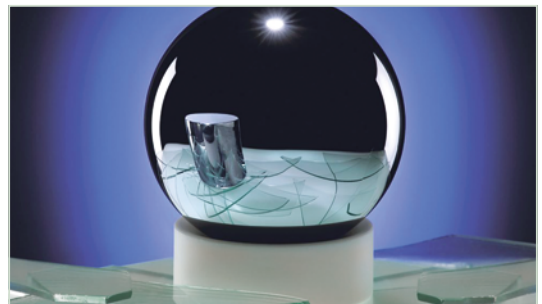


Bild 3: Silizium-Kugel zur Kilogramm-Definition

Die **Masse** eines Körpers ist vom **Ort** **unabhängig**.

Ein **Gegenstand** würde also auf dem **Mond** und auf der **Erde** die **gleiche Masse** haben. Die Gewichtskraft desselben Gegenstandes wäre dagegen auf dem Mond geringer.

Die Gewichtskraft F_G

Die Gewichtskraft ist ein **Maß für die Anziehungskraft**, z. B. der Erde auf eine Masse.

Sie wird üblicherweise mit einem **Kraftmesser** (Bild 1) bestimmt. Umgangssprachlich wird häufig der Begriff **Federwaage** verwendet, der streng genommen nicht ganz richtig ist, weil ein Kraftmesser mithilfe des Federwiderstandes nur eine Kraft messen kann. Wiegen kann man dagegen nur Massen.

Die **Einheit** für die Gewichtskraft ist das **Newton (N)**.

Die Anziehungskraft auf einen Körper ist auch auf der Erde nicht überall gleich. Die Erde ist nämlich an den Polen abgeflacht und hat am Äquator ihren größten Durchmesser.

Am **Normort Paris** beträgt der Ortsfaktor bzw. die **Fallbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$** bzw. N/kg. Am **Nordpol** ist die Anziehungskraft **höher**, weil bei gleicher Erdmasse der Abstand zum Erdmittelpunkt geringer ist. Sie beträgt dort 9,83 N/kg. Am **Äquator** ist die Erdanziehung wegen des großen Abstandes zum Erdmittelpunkt mit 9,78 N/kg **geringer**.

Noch niedriger ist die Gewichtskraft auf dem Mond. Wegen der deutlich kleineren Masse des Mondes beträgt die Fallbeschleunigung dort nur $g = 1,62 \text{ N/kg}$ (Bild 2).

Im Gegensatz zur Masse ist die Gewichtskraft vom Ort, an dem gemessen wird, abhängig (Tabelle 1).

Formel:

$$F_G = m \cdot g \quad \text{Einheit: [N]}$$

Gewichtskraft = Masse · Erdbeschleunigung [Newton]

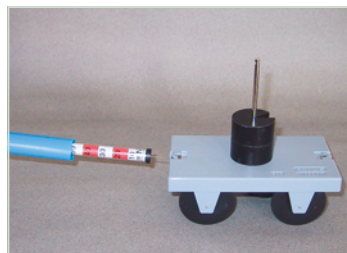


Bild 1: Kraftmesser



Bild 2: Erde und Mond

Tabelle 1: Fallbeschleunigung	
Paris	9,81 m/s ²
Nordpol	9,83 m/s ²
Äquator	9,78 m/s ²
Mond	1,62 m/s ²
Sonne	273 m/s ²
Jupiter	24,8 m/s ²

Gedankenversuch: Würde man einen Gegenstand mit der Masse 5 kg auf dem Mond und auf der Erde (Paris) mit der Balkenwaage wiegen, so hätte dieser Gegenstand jeweils 5 kg. Bestimmt man allerdings die Gewichtskraft, dann würde der Kraftmesser auf der Erde $F_G = 5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 49,05 \text{ N}$ anzeigen. Auf dem Mond liest man dagegen $F_G = 5 \text{ kg} \cdot 1,62 \text{ N/kg} = 8,1 \text{ N}$ ab. Die Gewichtskraft ist also auf dem Mond rund sechsmal geringer.

Die **Gewichtskraft** ist vom **Ort** abhängig.

Wiederholungsfragen:

- Nennen Sie Messgeräte zur Bestimmung
 - der Masse,
 - der Gewichtskraft.
- Warum ist die Masse vom Ort unabhängig?
- Welche Definition für ein Kilogramm ist ab Mai 2019 festgelegt?
- Erklären Sie, weshalb die Gewichtskraft auf der Erde nicht überall gleich ist.
- Warum ist die Gewichtskraft ortsabhängig?

1.1.3 Länge, Fläche, Volumen und Dichte

Die Länge l :

Formelzeichen: l Einheit: 1 Meter = 1 m

Unter der Länge versteht man die Ausdehnung einer Strecke in einer Richtung – in **einer Dimension** – von einem bestimmten Anfangspunkt bis zu einem bestimmten Endpunkt. Dabei spielt die Richtung selbst keine Rolle, d. h., auch die sog. Breite, Höhe, Tiefe oder Dicke fallen unter den Oberbegriff **Länge**. Das sog. **Urmeter** aus Platin-Iridium (**Bild 1**) ist 1875 als der 40millionste Teil des Erdumfangs festgelegt worden und stellt die **Einheit** der Länge dar, nach der sich alle Messinstrumente richten müssen. Da selbst dieses Urmeter aufgrund von Temperaturschwankungen nicht immer exakt die gleiche Länge aufweist, hat man 1960 eine neue Definition festgesetzt:



Bild 1: Urmeter aus Platin-Iridium

Ein **Meter** ist die Strecke die das Licht im luftleeren Raum in einer 299 729 458-stel Sekunde durchläuft.

In **Tabelle 1** sind die gebräuchlichsten Unterteilungen der Einheit 1 m dargestellt. In der Kunststofftechnik spielen vor allem die Einheiten mm und μm eine wesentliche Rolle.

Zum Messen von Längen verwendet man vor allem **Messschieber**.

Grundsätzlich gilt: Längen können nicht **100-prozentig** genau gemessen werden. Eine Genauigkeit von $\pm 1 \mu\text{m}$ gilt als absolute Grenze.

Beim **Messen** wird eine bestimmte Länge, z. B. die Länge eines PVC-Rohres, mit der Einheit 1 mm verglichen. Das Ergebnis stellt eine **physikalische Größe** dar, z. B. $l = 25 \text{ mm}$. (**Bild 2**)

Tabelle 1: Unterteilungen der Längeneinheit

Faktor	Zehnerpotenz	Einheit	Abkürzung
Tausendfach	10^3 m	1 Kilometer	1 km
Zehntel	10^{-1} m	1 Dezimeter	1 dm
Hundertstel	10^{-2} m	1 Zentimeter	1 cm
Tausendstel	10^{-3} m	1 Millimeter	1 mm
Millionstel	10^{-6} m	1 Mikrometer	1 μm



Bild 2: Messen einer Länge

Die Fläche A :

Formelzeichen: A (von engl. *area*)

Einheit: 1 Quadratmeter = $1 \text{ m}^2 = 100 \text{ dm}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$

Unter der **Fläche** versteht man die Ausdehnung eines Punktes in 2 Richtungen – in **2 Dimensionen**, in der Regel in eine Länge und eine Breite. Die Fläche leitet sich aus der Länge ab und sie gibt die Anzahl der Flächeneinheiten einer beliebigen Fläche an.

Beispiel: $A = l \cdot b = 5 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} = 25 \text{ m}^2$

Flächen spielen in der Technik vor allem als **Querschnittsflächen** von Profilen, sogenannten Halbzeugen, und als **Oberflächen** von Körpern eine wichtige Rolle (**Bild 3**).

Flächen werden in der Regel berechnet, sie sind aber auch direkt durch einen sogenannten **Planimeter** messbar.

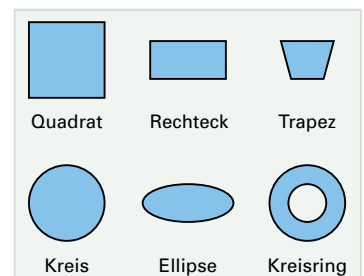


Bild 3: Querschnitte

■ Das Volumen V :

Das Volumen stellt die Ausdehnung eines Punktes in **3 Dimensionen** dar, einer Länge, einer Breite und einer Höhe (oder Tiefe). Es gibt die Anzahl der Volumeneinheiten eines beliebigen Rauminhaltes wieder.

Formelzeichen: V

Einheiten: 1 Kubikmeter = $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^9 \text{ mm}^3$

Für Flüssigkeiten: 1 Liter = $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$

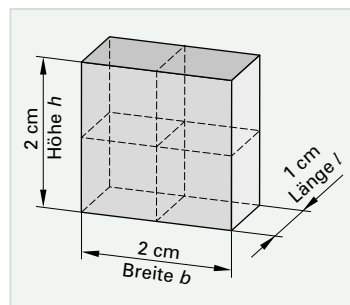


Bild 1: Quader mit 4 cm^3

Beispiel: Volumen eines Quaders (**Bild 1**)

$$V = l \cdot b \cdot h = 1 \text{ cm} \cdot 2 \text{ cm} \cdot 2 \text{ cm} = 4 \text{ cm}^3$$

Bei den Volumen unterscheidet man zwischen **prismatischen**, **spitzen** und **abgestumpften** Grundkörpern.

Volumen von klar begrenzten Körpern werden meist berechnet, unregelmäßige Rauminhalte können auch durch **Flüssigkeitsverdrängung** direkt gemessen werden. Dabei macht man sich zunutze, dass ein untergetauchter Körper genauso viel Flüssigkeit verdrängt, wie er selbst an Volumen einnimmt. Die aus dem **Überlaufgefäß** ① auslaufende Flüssigkeit kann mit einem **Messzylinder** ② gemessen werden (**Bild 2**).

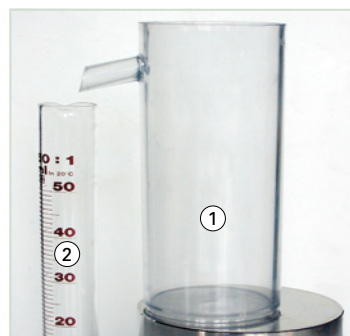


Bild 2: Überlaufgefäß

■ Die Dichte ρ :

Formelzeichen: ρ (griech. *rho*)

Einheit: $1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$

Verschieden große Körper unterscheiden sich in ihrer Masse und ihrem Volumen. Zum Vergleich solcher Körper macht es Sinn, für diese Körper die **Masse pro Volumeneinheit** anzugeben. Auf diese Weise erhält man als neue Größe die **Dichte**, welche ein Kennzeichen für den **Werkstoff** des Körpers darstellt.

Wortgleichung: **Dichte** = $\frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$

Formelgleichung: $\rho = \frac{m}{V}$

Die Einheit leitet sich direkt aus der Formel ab, allerdings verwendet man nur für **gasförmige** Stoffe die direkt abgeleitete Einheit 1 kg/m^3 , für **flüssige** und **feste** Körper dagegen 1 kg/dm^3 oder 1 g/cm^3 . Die Dichte von Flüssigkeiten und Gasen ist abhängig von der Temperatur und dem Umgebungsdruck. Als Vergleichswert für Dichtewerte gilt die Dichte von Wasser bei 4 °C : 1 kg/dm^3 . Alle Stoffe mit einer geringeren Dichte als 1 kg/dm^3 **schwimmen** auf dem Wasser, Stoffe mit einer höheren Dichte **gehen unter** (**Tabelle 1**).

Die Dichte von festen Körpern kann nicht direkt bestimmt werden, sondern muss nach der Formel berechnet werden. Bei Flüssigkeiten kann sie direkt aufgrund des von der Dichte abhängigen **Auftriebes** durch sogenannte **Dichtespindeln** gemessen werden.

Tabelle 1: Dichte ρ verschiedener Stoffe in kg/dm^3 bzw. g/cm^3

Stoff	Dichte	Stoff	Dichte	Stoff	Dichte
Fichtenholz	0,5	Wasser bei 4 °C	1	Stahl	7,85
Maschinenöl	0,91	Polystyrol	1,05	Blei	11,3
Polyethylen	0,92 ... 0,96	Aluminium	2,7	Platin	21,5

Über die Dichte kann man auch den Werkstoff eines Körpers bestimmen. Hierzu bestimmt man seine Masse durch Wiegen und sein Volumen durch Berechnung oder Flüssigkeitsverdrängung. Daraus berechnet man seine Dichte und vergleicht diesen Wert mit entsprechenden **Tabellenwerten**.

1.1.4 Zeit und Geschwindigkeit

Die Zeit t :

Formelzeichen: t (von engl. *time*)

Einheit: 1 Sekunde = **1 s** = 1000 ms

Seit 1967 gilt für die Sekunde folgende Definition:

1 Sekunde ist das 9 192 631 770-fache der Periodendauer der Strahlung von Cäsium 133 beim Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturen dieses Atoms.

Umrechnungen:

1 Tag (d) = 24 Stunden (h)

1 h = 60 min = 3600 s

Es gibt **nur** für die **Sekunde** Vorsätze für dezimale Teile und Vielfache. Die Zeit wird durch periodisch verlaufende Vorgänge gemessen, z. B. in einer Pendeluhr, Stoppuhr oder Atomuhr (**Bild 1**).

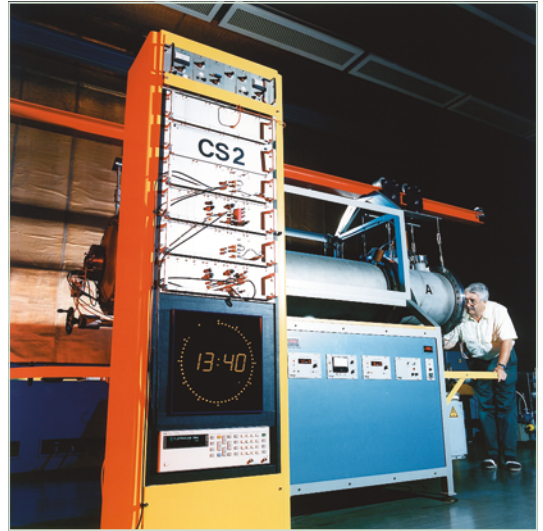


Bild 1: Atomuhr

Die Geschwindigkeit v :

Formelzeichen: v (von engl. *velocity*)

Einheiten: **1 m/s** = 60 m/min = 3,6 km/h

Ein Körper befindet sich entweder in **Ruhe** oder in einer Form von **Bewegung**. Bei der **gleichförmigen** Bewegung legt der Körper in gleichen Zeiten gleiche Wege zurück.

Unter der Geschwindigkeit v versteht man die **pro Zeiteinheit** zurückgelegte Strecke.

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Strecke}}{\text{Zeit}} \quad v = \frac{s}{t}$$

Beispiel: Ein Pkw legt in 3 Stunden 270 km zurück. Damit beträgt seine Durchschnittsgeschwindigkeit:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{270 \text{ km}}{3 \text{ h}} = 90 \text{ km/h}$$

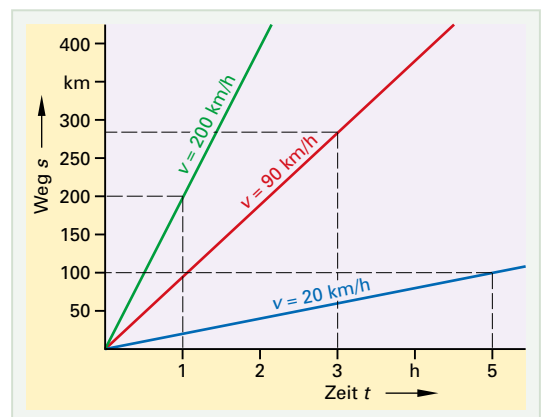


Bild 2: Gleichförmige Bewegung (s-t-Diagramm)

Je steiler die Gerade im **s-t-Diagramm** verläuft, desto höher ist die Geschwindigkeit (**Bild 2**).

Kreisförmige Bewegung

In der Technik kommt der **kreisförmigen Bewegung** eine große Bedeutung zu. Sehr viele Maschinenelemente **drehen** sich um eine bestimmte **Achse**, z. B. Zahnräder, Bohrer, Schaufräder von Pumpen oder Schnecken von Extrudern. Diese Drehbewegungen werden durch die **Drehzahl** n erfasst.

Die Drehzahl gibt die **Anzahl** der Umdrehungen pro **Zeiteinheit** an.

$$\text{Drehzahl} = \frac{\text{Umdrehungen}}{\text{Zeit}} \quad n = \frac{z}{t}$$

$$\text{Einheit: } 1/\text{min} = 60 \, 1/\text{s} = \text{min}^{-1}$$

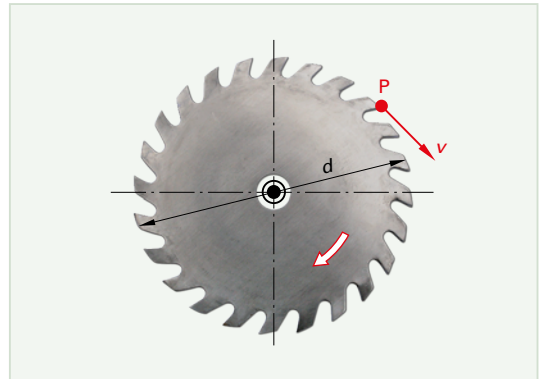


Bild 1: Kreisförmige Bewegung eines Sägeblattes

Ein Punkt P auf dem Rand einer Scheibe legt dabei den Weg $d \cdot \pi$ zurück, seine **Umfangsgeschwindigkeit** ist dabei **n -mal** so groß. Je weiter **außen** der Punkt liegt (d also größer wird), desto **schneller** bewegt er sich (Bild 1).

$$\text{Umfangsgeschwindigkeit: } v = d \cdot \pi \cdot n$$

$$\text{Einheit: meist } \text{m/min}$$

Ungleichförmige Bewegung

Ändert sich die Geschwindigkeit eines Körpers, so ist seine Bewegung ungleichförmig. Bei einer Zunahme der Geschwindigkeit spricht man von einer **Beschleunigung**, bei einer Abnahme von einer **Verzögerung**.

Unter der Beschleunigung a (①) bzw. Verzögerung a (②) versteht man die Geschwindigkeitszu- bzw. Geschwindigkeitsabnahme Δv pro Zeiteinheit Δt (Bild 2).

$$\text{Beschleunigung, } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{Einheit: } 1 \, \text{m/s}^2$$

Verzögerung:

Beispiel: Ein Pkw beschleunigt von 0 auf 100 km/h in 10 s, so beträgt seine durchschnittliche Beschleunigung:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{100 \, \text{km/h}}{10 \, \text{s}} = \frac{27,77 \, \text{m/s}}{10 \, \text{s}} = 2,77 \, \text{m/s}^2$$

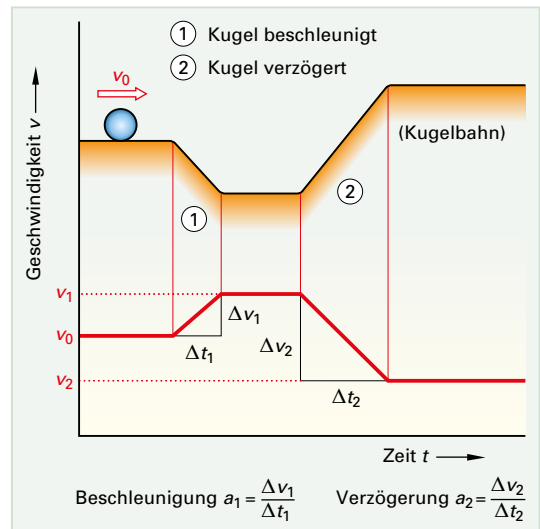


Bild 2: Bewegungsablauf im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm

Wiederholungsfragen:

1. In welcher Einheit wird die Dichte von Stoffen angegeben?
2. Worin liegt der Unterschied zwischen einer gleichförmigen und einer ungleichförmigen Bewegung?
3. Wo spielen kreisförmige Bewegungen eine wichtige Rolle?
4. Wie kann das Volumen von unregelmäßigen Körpern bestimmt werden?

1.1.5 Weitere wichtige physikalische Größen

Temperatur

Formelzeichen: absolute Temperatur T	Einheit: 1 Kelvin = 1 K (nicht Grad Kelvin)
Temperatur nach Celsius: t oder ϑ	Einheit: 1 Grad Celsius = 1 °C
Temperatur nach Fahrenheit: $t_F = 1,8 \cdot t + 32$	Einheit: 1 Grad Fahrenheit = 1 °F

Der schwedische Astronom Anders **Celsius** (1701 – 1744) legte seine Temperaturskala durch den **Schmelz-** bzw. **Siedepunkt** von Wasser fest und teilte den Abstand dieser beiden Temperaturpunkte in 100 Teile. Da 0 °C, also der Schmelzpunkt von Wasser, nicht die kälteste mögliche Temperatur ist, entstehen zwangsläufig **negative** Temperaturen. Der Physiker **Kelvin** stellte fest, dass es einen **absoluten Nullpunkt** bei **– 273,15 °C** gibt, bei dem jegliche Bewegung der Stoffteilchen zum Erliegen kommt. Er bezeichnete diesen Punkt mit **0 Kelvin** (kurz **0 K**), behielt aber die Gradeinteilung von Celsius bei. Seine Temperaturen sind damit alle **absolut**, d. h. immer **positiv** (**Bild 1**). Auf dem amerikanischen Kontinent werden Temperaturen auch in **Grad Fahrenheit** (°F) gemessen.

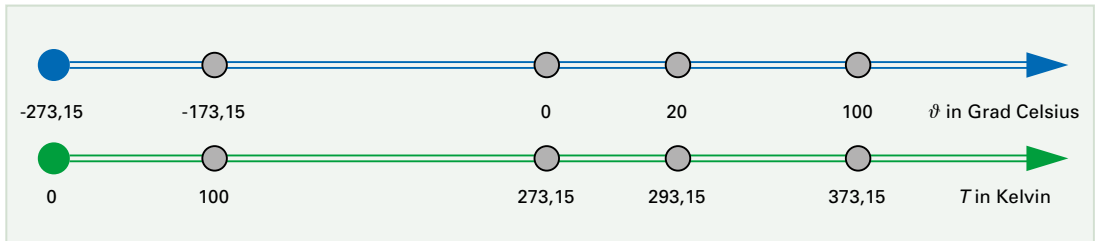


Bild 1: Vergleich von Celsius- und Kelvin-Skala

Zur Messung der Temperatur nutzt man **temperaturabhängige** physikalische Größen:

- **Flüssigkeitsthermometer:** Die **Länge** der Flüssigkeitssäule (Alkohol, Pentan, bis 2017 Quecksilber) gibt die Temperatur an. Der Siede- bzw. Schmelzpunkt begrenzt den Messbereich (**Bild 2**).
- **Binmetallthermometer:** Zwei Streifen aus unterschiedlichen Metallen sind dabei miteinander verbunden. Aufgrund der unterschiedlichen **Längenänderung** bei Erwärmung (siehe S. 18) krümmt sich der Streifen. Diese Krümmung stellt dann ein Maß für die Temperatur dar.
- **Widerstandsthermometer:** Der **elektrische Widerstand R** von Metallen ändert sich mit der Temperatur, somit ist die Höhe des Widerstandes ein Maß für die Temperatur. Durch Verwendung von Keramik oder Halbleitern erhöht sich der Messbereich von $-200\text{ °C} \dots +800\text{ °C}$ (**Bild 3**).
- **Infrarotthermometer (Pyrometer):** Alle Körper oberhalb des absoluten Nullpunktes geben **Infrarotstrahlung** ab, deren Intensität ein Maß für die Temperatur darstellt. Mit einem **Laserpointer** wird die Messstelle anvisiert. Der Messbereich liegt zwischen $-50\text{ °C} \dots 5000\text{ °C}$ (**Bild 4**).

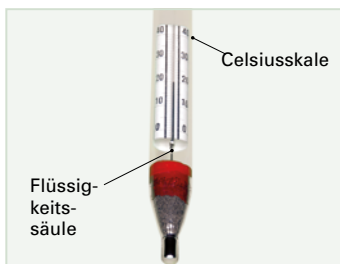


Bild 2: Flüssigkeitsthermometer



Bild 3: Widerstandsthermometer



Bild 4: Infrarotthermometer

Längenänderung

Aufgrund der **zunehmenden Teilchenbewegung** bei steigender Temperatur nimmt die **Länge** von festen Körpern oder auch von Flüssigkeitssäulen **zu**. Diese Längenänderung ist von der **Temperaturänderung Δt** (sprich Delta t), der **Ausgangslänge l_1** und dem **Material** abhängig (**Bild 1**).

Die Materialabhängigkeit wird durch den sog. **Längenausdehnungskoeffizienten α_l** ausgedrückt.



Bild 1: Längenausdehnung

$$\text{Längenänderung: } \Delta l = l_1 \cdot \Delta t \cdot \alpha_l \quad l_2 = l_1 + \Delta l$$

$$\Delta t = t_2 - t_1: \text{Temperaturänderung in } ^\circ\text{C} \quad \alpha_l: \text{Längenausdehnungskoeffizient in } 1/^\circ\text{C}$$

Diese Ausdehnung macht sich aber auch zweidimensional als **Flächenausdehnung** und dreidimensional als **Volumenausdehnung** bemerkbar. Bei einer Abkühlung zieht sich ein Körper zusammen, man spricht von einer **Schrumpfung** bzw. **Schwindung**, die z. B. beim Spritzgießen berücksichtigt werden muss, indem der Werkzeughohlraum (Kavität) um das Maß der Schwindung **größer** sein muss als die Endmaße.

Elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit

Auch diese beiden Größen sind entscheidend von der **Temperatur** abhängig. Grundsätzlich hängen die Fähigkeiten von Stoffen, elektrischen Strom oder Wärme zu leiten, zusammen. Ein Stoff, der die Wärme schlecht leitet, z. B. die Kunststoffe, leitet auch den elektrischen Strom nur sehr schlecht und umgekehrt. Als Kenngröße für die elektrische Leitfähigkeit wird meist der sog. **spezifische Widerstand** bei 20°C ϱ_{20} in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ verwendet. Der spezifische Widerstand ist der Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit. Die **Wärmeleitfähigkeit λ** (lambda) wird in der Einheit $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ angegeben (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Spezifischer Widerstand und Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe

Stoff	Aluminium	Eisen	Polystyrol	Porzellan
Wärmeleitfähigkeit λ in $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$	204	81	0,17	1,6
Spezifischer Widerstand ϱ_{20} in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0,028	0,125	10^{18}	10^{18}

Kunststoffe haben in der Regel eine sehr **schlechte elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit**, sie werden als **Isolatoren** eingesetzt. Metalle dagegen leiten Strom und Wärme sehr gut, sie sind **Leiter**.

Druck

Formelzeichen: **p** (von engl. *pressure*) Einheiten: **$1 \text{ N}/\text{m}^2 = 1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa}$** ; **$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$**

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Auflagefläche}}$$

$$p = \frac{F}{A} = 10 \text{ N}/\text{cm}^2$$

Unter Druck versteht man die **Kraft**, die auf eine **Fläche von 1 m^2** wirkt. Die Einheit $1 \text{ N}/\text{m}^2$ oder 1 Pa leitet sich direkt aus der Formel ab. Da ein Druck von 1 Pa sehr klein ist, verwendet man als Einheit üblicherweise **1 bar**, das **Hunderttausendfache** von einem Pascal.

Beispiele für Drücke:

- Luftdruck: 1013 mbar = 1013 hPa
- Druck in 10 m Wassertiefe: 1 bar
- Spitzendruck beim Spritzgießen: bis 2000 bar
- Pneumatische Steuerungen: bis ca. 14 bar
- Hydraulische Steuerungen: bis ca. 400 bar

Drücke werden durch sogenannte **Manometer** gemessen, hier kommt z. B. das **U-Rohr-Manometer**, das **Plattenfedermanometer** oder das **Rohrfedermanometer** zur Anwendung (**Bild 1**).

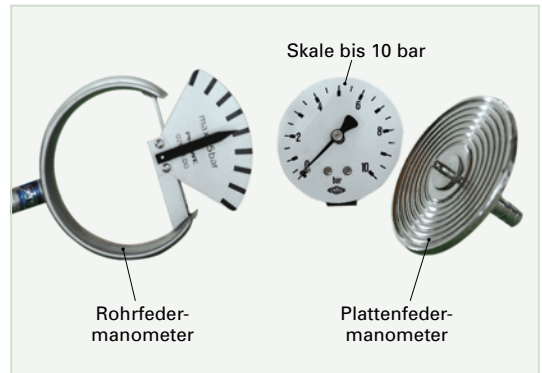


Bild 1: Rohrfeder- und Plattenfedermanometer

Vor allem in der Pneumatik (Lehre vom Verhalten der Gase, insbesondere der Luft) misst man in der Regel die **Abweichung** zum Luftdruck als sogenannten **Überdruck** oder **Unterdruck** (Vakuum). Ein 100-prozentiges Vakuum meint einen **absoluten Druck** von **0 bar**. Negative Drücke sind nicht möglich.

Pneumatische Drücke in Form von **Druckluft** werden durch **Verdichter** erzeugt und können in Druckbehältern gespeichert werden. Hydraulische Drücke werden mit entsprechenden **Hydraulikpumpen** erzeugt und aufrechterhalten.

Stoffmenge

Die **Stoffmenge** n gibt die Anzahl **gleichartiger** Atome oder Moleküle an, die in einem Körper enthalten ist. Sie wird in der Einheit **Mol** angegeben.

Ein Mol ist die Stoffmenge, in der soviele Teilchen enthalten sind wie Atome in 12 g des Kohlenstoffisotopes C-12. 1 Mol enthält damit $6,022045 \cdot 10^{23}$ Teilchen.

Oft ist es nützlich, das **Volumen** oder die **Masse** eines Stoffes auf die Stoffmenge zu **beziehen**. Man spricht dann vom sogenannten **molaren Volumen** V_m bzw. der **molaren Masse** M .

Molares Volumen: $V_m = \frac{V}{n}$ Einheit: m^3/mol Molare Masse: $M = \frac{m}{n}$ Einheit: kg/mol

Wiederholungsfragen:

1. Geben Sie die Einheiten der Temperatur an.
2. Nennen Sie die Arten von Thermometern.
3. Was versteht man unter der Längenausdehnung?
4. Welche Stoffe haben eine hohe Wärme- bzw. elektrische Leitfähigkeit?
5. Nennen Sie die Einheiten des Druckes.
6. Welche Arten von Manometern unterscheidet man?
7. Erklären Sie den Unterschied zwischen Über- und Unterdruck.
8. Was versteht man unter der Stoffmenge?
9. Nennen Sie die Einheit der Stoffmenge.

1.1.6 Aggregatzustand, Adhäsion, Kohäsion und Kapillarwirkung

Wenn Kunststoffteile miteinander verbunden werden sollen, greift man häufig auf die Verfahren Kleben und Schweißen zurück. In diesem Zusammenhang fallen häufig die Begriffe **Adhäsion** (Anhangskraft), **Kohäsion** (Zusammenhangskraft) und **Kapillarwirkung**. Im Nachfolgenden sollen diese Begriffe genauer erklärt werden. Zum besseren Verständnis wird zunächst der Begriff Aggregatzustand erklärt.

■ Aggregatzustand

Der Begriff Aggregatzustand bezeichnet die **Erscheinungsform eines Stoffes**. Die Mehrzahl der Stoffe kann fest, flüssig und gasförmig vorkommen. Ausnahmen wie Holz, das z. B. nicht flüssig werden kann, sind eher selten.

Der Aggregatzustand hängt vom **äußeren Druck**, der **Temperatur** und von den **Eigenheiten des Stoffes** ab. Das Gas Helium bleibt beispielsweise bis zu einer Temperatur von minus 269 °C gasförmig, das Metall Wolfram ist dagegen bis zu einer Temperatur von 3370 °C fest.

Wasser kann in allen drei Aggregatzuständen (**Bilder 1 bis 3**) auftreten. Bei Temperaturen unterhalb von 0 °C (Gefrierpunkt) wird Wasser zu **Eis**. Zwischen 0 °C und 100 °C (Siedepunkt) ist **Wasser** flüssig, und bei Temperaturen oberhalb von 100 °C spricht man von **Wasserdampf** (gasförmig).



Bild 1: Eis

Bild 2: Wasser

Bild 3: Wasserdampf

■ Kohäsion

Der Begriff **Kohäsion** bezeichnet die **Zusammenhangskraft** innerhalb eines Stoffes. Die Kohäsion ist von den Eigenheiten des Stoffes und von seinem Aggregatzustand (**Bilder 4 bis 6**) abhängig.

Die Zusammenhangskräfte (Kohäsionskräfte) innerhalb eines Stoffes kann man sich modellhaft wie folgt vorstellen:

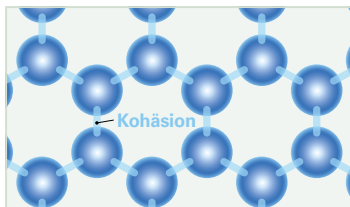


Bild 4: Eismoleküle

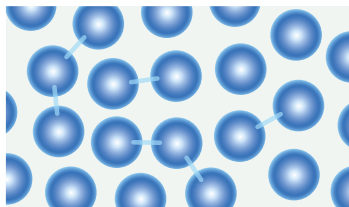


Bild 5: Wassermoleküle

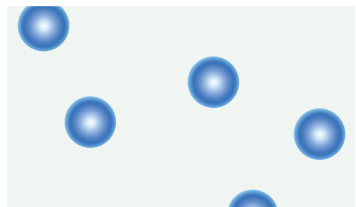


Bild 6: Wasserdampfmoleküle

Bei Feststoffen werden die Moleküle durch die **Kohäsion** zusammengehalten. Je größer diese Kraft ist, desto höher ist die **Festigkeit** des Stoffes.

Die Kräfte im Inneren eines Tropfens heben sich gegenseitig auf. => **freie Verschiebbarkeit** der Moleküle (sehr geringe Kohäsion).

Die Moleküle haben eine hohe Eigenbewegung. Wenn sie gegeneinander prallen, stoßen sie sich gegenseitig ab. Diesen Vorgang nennt man **Expansion**.

Dieses Modell trifft auf die Mehrzahl aller Stoffe zu.