
Kamprath-Reihe

Prof. Dr.-Ing. Silvia Weber
Prof. Dr.-Ing. Heidrun Bögner-Balz
Prof. Dr.-Ing. Erhard Bruy
Prof. Dr.-Ing. Hermann Schäffler
Prof. Günther Schelling

Baustoffkunde

Aufbau und Technologie, Arten und Eigenschaften,
Anwendung und Verarbeitung

12., überarbeitete und erweiterte Auflage

PROFESSOR DR.-ING. SILVIA WEBER

1981 bis 1987 Studium des Bauingenieurwesens. 1990 bis 1996 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Lehrstuhl Prof. H.-W. Reinhardt. 1996 Promotion auf dem Gebiet Hochleistungsbeton. 1996 bis 1998 Forschungstätigkeiten an der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg. 1998 bis 2001 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Bauberatung Zement Stuttgart. Seit 2001 Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft, Professur für die Fachgebiete: Baustoffkunde, Betontechnologie und Betoninstandsetzung. Seit 2006 Leitung Labor für Baustoffkunde, seit 2021 Leitung Öffentliche Baustoffprüfstelle.

PROFESSOR DR.-ING. HEIDRUN BÖGNER-BALZ

1993 bis 1999 Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Stuttgart. 1999 bis 2010 Bauingenieurin im Labor Blum. 2004 Promotion zum Schubverhalten beschichteter Gewebe am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart. 2009 Gastprofessur an der Hochschule Anhalt. 2011 bis 2012 Geschäftsführerin Labor Blum GmbH. 2011 bis 2021 Leitung PÜZ-Stelle für Membrane und Folien. 2013 bis 2015 Leitung der Außenstelle Stuttgart, DEKRA Industrial International, Construction Management. 2016 bis 2021 Leitung Labor für Technische Textilien und Folien der DEKRA Automobil GmbH. Seit 2021 Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft, Professur für das Fachgebiet Nachhaltige Werkstoffe im Bauwesen. Mitglied im Sachverständigenausschuss Kunststoffe des DIBt und in europäischen und deutschen Normenausschüssen Bau und Kunststoffe.

PROFESSOR DR.-ING. ERHARD BRUY

1958 bis 1964 Bauingenieurstudium an der Technischen Hochschule in Stuttgart. Nach Baustellen- und Bürotätigkeit bei einer Baufirma von 1965 bis 1981 Assistent bei Professor Dr.-Ing. Gustav Weil sowie Prüf- und Forschungsingenieur an der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen – Otto-Graf-Institut – an der Universität Stuttgart. Im Jahr 1974 als Stipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft in den USA. Seit 1981 Professor für Baustoffkunde an der Hochschule für Technik in Stuttgart.

PROFESSOR DR.-ING. LEYLA CHAKAR

1993 bis 2000 Studium des Bauingenieurwesens mit Vertiefung Straßenbau an der Technischen Universität Sofia, Bulgarien. Abschluss als Magister-Ingenieur. 2001 bis 2011 akademische Mitarbeiterin und stellvertretende Prüfstellenleiterin nach RAPStra am Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT, ehemals Universität Karlsruhe). 2008 Promotion zur Dr.-Ing. im Bereich Straßenbautechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). 2011 bis 2018 geschäftsführende Referentin der Fachgruppe Sand und Kies im Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg. Seit 2019 Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft, Professur für das Fachgebiet Verkehrswesen.

PROFESSOR DR.-ING. HERMANN SCHÄFFLER

1936 bis 1939 Bauingenieurstudium an der Technischen Hochschule Stuttgart. 1944 bis 1959 Assistent bei Professor Dr.-Ing. e.h. Otto Graf sowie Prüf- und Forschungsingenieur an der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen, Otto-Graf-Institut, an der Universität Stuttgart. 1959 bis 1980 Professor für Baustoffkunde und Baustoffprüfung sowie Leiter der öffentlichen Baustoffprüfstelle an der Fachhochschule für Technik Stuttgart. 1962 bis 1986 öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baustoffe. Professor Schäffler ist im Jahr 2007 verstorben.

Als weiterer Titel in diesem Themengebiet ist bei der Vogel Communications Group erschienen: Thomas Mallon: Bauchemie

Weitere Informationen:

www.vogel-professional-education.de

ISBN 978-3-8343-3557-9

ISBN E-Book 978-3-8343-6339-8

12. Auflage. 2026

Lektorat: Ulrike Klein, Berlin

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Druck: General Nyomda Kft.

6728 Szeged, Kollegiumi ut 11/H

Gedruckt auf zertifiziertem Papier mit mineralölfreien Druckfarben

Copyright 1975, 2026 by Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, Würzburg

Vogel Communications Group GmbH & Co.KG

Max-Planck-Straße 7/9

97082 Würzburg

Tel.: +49 931 418-0

Fragen zur Produktsicherheit:

produktsicherheit@vogel.de

Vorwort und Danksagung

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Wir leben in einer sich schnell verändernden Welt, in der lebenslanges Lernen unerlässlich ist. Dies gilt auch für Kenntnisse über Werkstoffe, die für Konstruktion, Bau und Ausbau von Bauwerken gebraucht werden. Sie sind in der Berufsausbildung wie auch in der täglichen Praxis von großer Bedeutung. Für einen sinnvollen und fachgerechten Einsatz der Baustoffe sind sowohl die Kenntnis der einschlägigen Normen und Vorschriften nötig als auch das Verständnis der Zusammenhänge von Herstellung und Eigenschaften.

Mit diesem Buch soll deswegen Auszubildenden im Baugewerbe und Studenten baubezogener Studiengänge ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, um sich umfassende und aktuelle Kenntnisse zu Bauwerkstoffen anzueignen. Um den Lernenden zu helfen, das Gelernte in der Praxis umzusetzen, wird das theoretische Wissen mit praktischen Beispielen und Anwendungen verknüpft.

Das Buch vermittelt diese Zusammenhänge für die wichtigsten Baustoffe anschaulich und übersichtlich. Die 12. Auflage wurde völlig neu bearbeitet und mit den derzeit gültigen europäischen Normen erweitert.

Beschrieben werden die stofflichen Zusammensetzungen und die Eigenschaften der im Bauwesen verwendeten Werkstoffe sowie ihre fachgerechte Herstellung und Anwendung.

Die Einteilung der Baustoffe nach Entstehung, Herstellung, Verarbeitung und stofflicher Beschaffenheit sowie nach bestimmten Funktionen im Bauwerk führt zu den jeweiligen Baustoffgruppen. Eigenschaften und Qualität der Baustoffe müssen oder können mit genormten bzw. normgerechten Prüfungen festgestellt werden.

Baustoffe, vor allem Beton und Mörtel, die in Werken oder erst an der Baustelle hergestellt werden, setzen besonders umfangreiche Kenntnisse der Verantwortlichen voraus und werden deshalb ausführlicher behandelt.

Obwohl es mittlerweile die 12. Ausgabe ist, war die Arbeit an diesem Buch eine außergewöhnliche Erfahrung, die ohne die Zusammenarbeit und den Einsatz mehrerer Beteiligten nicht einfach gewesen wäre. Jeder von ihnen hat mit seinen individuellen Stärken und seinem Engagement einen wichtigen Beitrag geleistet, und ich bin dankbar für die produktive Zusammenarbeit. Die Expertisen und das Engagement aller Beteiligten waren unverzichtbar und haben wesentlich dazu beigetragen, dass dieses Buch in seiner jetzigen Darstellung entstanden ist.

Dieses Buch im neuen Format ist das Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit mit meiner Kollegin Prof. Dr.-Ing. Heidrun Bögner-Balz und ich möchte die Gelegenheit wahrnehmen, um meiner Mitautorin von Herzen zu danken.

Ein besonderer Dank gilt auch unserer Kollegin Prof. Dr.-Ing. Leyla Chakar. Als sie von unseren Problemen in Bezug auf die Aktualisierung des Buches hörte, hat sie sich freundlicherweise bereit erklärt, ihr umfassendes Wissen im Bereich Bitumen und bituminöse Baustoffe in dieses Werk einzubringen.

Ebenfalls danke ich Herrn Manfred Feiler für seine sorgfältigen Korrekturen der Kapitel, die sich auf den Baustoff Beton beziehen, seine wie immer präzisen und kritischen Anmerkungen und seinen erbarmungslos eingesetzten Rotstift.

Ich möchte auch meiner wissenschaftlichen Hilfskraft Herrn Valentin Riegel meinen Dank für das Formatieren aussprechen, dessen Geduld und Bereitschaft zur Zusammenarbeit während des gesamten Projekts von großer Hilfe waren. Seine Fähigkeit, komplexe Themen der Betontechnologie zu verstehen, hat wesentlich zur Gestaltung der entsprechenden Kapitel beigetragen.

Ein besonderer Dank geht auch an Tim Keller. Er hat sich angeboten, in den Schulferien Fotos von Laborversuchen anzufertigen und hat in jedes Bild viel Liebe zum Detail und Sorgfalt gesteckt. Einige davon sind in diesem Buch veröffentlicht, andere bereichern das Lehrmanuskript.

Mit großer Wertschätzung an alle und herzlichen Dank an die Mitarbeiter des Vogel-Verlags für die geduldige Unterstützung

Stuttgart, August 2025

Silvia Weber

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung	6
-------------------------------------	----------

1	Grundlagen	19
1.1	Historische Entwicklung	19
1.2	Systematik der Baustoffe	20
1.2.1	Einteilung nach der stofflichen Beschaffenheit	20
1.2.2	Einteilung nach der Entstehung und Herstellung	22
1.2.3	Einteilung nach der Verarbeitung	22
1.2.4	Einteilung nach bestimmten Funktionen in den Bauteilen	23
1.3	Vorschriften	24
1.4	Eigenschaften der Baustoffe und ihre Prüfungen	25
1.4.1	Gestalt und Maße	26
1.4.2	Masse, Dichte und Porosität	26
1.4.2.1	Masse	26
1.4.2.2	Dichte, Rohdichte, Schüttdichte	27
1.4.2.3	Porosität	28
1.4.3	Verhalten der Baustoffe gegenüber Wasser	29
1.4.3.1	Feuchtegehalt	30
1.4.3.2	Kapillares Saugen und Wasseraufnahme	31
1.4.3.3	Wasserundurchlässigkeit	32
1.4.3.4	Maßnahmen gegen Durchfeuchtung	32
1.4.4	Festigkeiten	33
1.4.4.1	Druckfestigkeit	34
1.4.4.2	Zugfestigkeit	35
1.4.4.3	Biegefestigkeit	35
1.4.4.4	Weitere Festigkeitsarten und Prüfungen	36
1.4.4.5	Härte und Verschleißwiderstand	37
1.4.4.6	Verschleißwiderstand (Abnutzwiderstand)	39
1.4.5	Formänderungen	40
1.4.5.1	Verformungsverhalten bei mechanischer Beanspruchung	40
1.4.5.2	Formänderungen infolge von Temperaturänderungen	44
1.4.5.3	Schwinden und Quellen	44
1.4.5.4	Maßnahmen gegen Schäden durch Verformungen	44
1.4.6	Beständigkeit	45
1.4.6.1	Raumbeständigkeit	45
1.4.6.2	Beständigkeit gegenüber Wasser und Frost	45
1.4.6.3	Beständigkeit gegenüber dem Kristallisationsdruck von Salzen	46

1.4.6.4	Alterungsbeständigkeit	46
1.4.6.5	Chemische Beständigkeit (Korrosionswiderstand)	46
1.4.6.6	Beständigkeit gegen pflanzliche und tierische Schädlinge	47
1.4.6.7	Beständigkeit gegen Feuer und Hitze – Brandverhalten	47
1.4.7	Wärmeschutz	48
1.4.8	Schallschutz	50
1.4.9	Gesundheit, Emissions- und Strahlenschutz	50
1.5	Gewährleistung der Eigenschaften	51
1.5.1	Kontrolle der Baustoffe	51
1.5.2	Streuung und Statistik	52

2 Metalle **53**

2.1	Allgemeine Technologie und Eigenschaften	53
2.1.1	Metallbindungen und -gefüge, Einflüsse auf das Gefüge	54
2.1.2	Formgebung und Metallverbindungen	58
2.1.3	Mechanische Eigenschaften	58
2.1.4	Korrosion und Korrosionsschutz	59
2.1.5	Alterung	61
2.2	Eisen und Stahl	61
2.2.1	Gusseisen	62
2.2.2	Technologie des Stahls	63
2.2.2.1	Herstellung	63
2.2.2.2	Klassifizierung der Stähle	64
2.2.2.3	Wärmebehandlung	65
2.2.2.4	Kaltverformung	67
2.2.2.5	Mechanisch-technologische Eigenschaften von Stahl	67
2.2.2.6	Dauerfestigkeit	70
2.2.2.7	Feuerwiderstand	70
2.2.2.8	Schweißen	71
2.2.3	Baustähle	72
2.2.4	Stähle mit hohem Korrosionswiderstand	75
2.2.5	Betonstähle	76
2.2.6	Spannstähle	81
2.2.7	Drahtseile	83
2.3	Nichteisenmetalle	83
2.3.1	Aluminium	84
2.3.1.1	Technologie des Aluminiums	84
2.3.1.2	Aluminiumwerkstoffe – Eigenschaften und Oberflächenbehandlung	84
2.3.2	Zink	86
2.3.3	Blei	86
2.3.4	Kupfer	86

3	Holz und Holzwerkstoffe	87
3.1	Aufbau des Holzes und Holzfehler	87
3.1.1	Makroskopischer Aufbau	88
3.1.2	Mikroskopischer Aufbau	89
3.1.3	Chemischer Aufbau und Ökologie	89
3.1.4	Inhomogenitäten und Holzfehler	90
3.2	Holzarten	90
3.3	Eigenschaften des Holzes	91
3.3.1	Dichte und Feuchtegehalt	91
3.3.2	Festigkeiten von Holz und Härte	94
3.3.3	Sortierkriterien	96
3.3.4	Charakteristische Werkstoffkennwerte	98
3.3.5	Formänderungen	99
3.3.6	Einflüsse auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften	102
3.3.7	Dauerhaftigkeit, Holzzerstörung und Holzschutz	104
3.3.7.1	Zerstörung durch Pilze	104
3.3.7.2	Zerstörung durch Insekten	105
3.3.7.3	Schutz gegen Pilze und Insekten	105
3.3.7.4	Zerstörung durch Feuer, vorbeugender Brandschutz	106
3.4	Lieferformen und Behandlung des Holzes	109
3.4.1	Lieferformen, Baumkante	109
3.4.2	Klebeverbindungen	110
3.4.3	Oberflächenbehandlung	110
3.5	Holzwerkstoffe	110
3.5.1	Technologie und allgemeine Eigenschaften	110
4	Naturstein	113
4.1	Aufbau und Hinweise für die Auswahl	113
4.2	Entstehung	114
4.2.1	Erstarrungs-/Eruptivgestein	114
4.2.2	Ablagerungsgestein/Sedimente	116
4.2.3	Umwandlungsgesteine	118
4.3	Eigenschaften	118
4.4	Prüfungen von Naturstein	119
4.5	Verarbeitung der Natursteine	122
4.5.1	Naturwerksteine	122
4.5.2	Schotter, Splitt und Brechsand	122
5	Gesteinskörnung	123
5.1	Regelwerke, Definitionen	124
5.2	Arten und Bezeichnungen	125
5.3	Anforderungen	126

5.3.1	Geometrische Anforderungen	127
5.3.2	Physikalische Eigenschaften	130
5.3.3	Chemische Eigenschaften	132
5.4	Kornzusammensetzung, Sieblinien	135
5.4.1	Kornverteilung	135
5.4.2	Siebversuch	135
5.4.3	Körnungsziffer und <i>D</i> -Summe	135
5.4.4	Sieblinien	138
5.4.5	Zusammensetzung eines Korngemisches	140
5.4.5.1	Zusammensetzung eines Korngemisches durch Vergleich der Siebdurchgänge	140
5.4.5.2	Zusammensetzung eines Korngemisches durch rechnerisches Verfahren	141
5.5	Qualitätskontrolle und Konformitätsnachweis	144
5.6	Allgemeine Hinweise	145
5.7	Regelungen in DIN 1045-2 im Zusammenhang mit der Betonherstellung	145
5.8	Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit	145
6	Bindemittel	147
6.1	Baukalke	148
6.2	Zement	149
6.2.1	Technologie und Erhärtung	150
6.2.2	Zementarten, Eigenschaften	152
6.2.3	Anforderungen und Prüfungen von Zement	154
6.2.3.1	Mahlfeinheit nach DIN EN 196-6	154
6.2.3.2	Erstarrungsverhalten nach DIN EN 196-3	155
6.2.3.3	Festigkeit nach DIN EN 196-1	155
6.2.3.4	Hydratationswärme	158
6.2.3.5	Raumbeständigkeit nach DIN EN 196-3	158
6.2.3.6	Sulfatwiderstand	159
6.2.3.7	Weitere Anforderungen an Zement	159
6.2.4	Lagerung und gesundheitliche Aspekte	160
6.2.5	Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit	160
6.3	Baugipse und Anhydritbinder	161
6.3.1	Technologie und Erhärtung	161
6.3.2	Baugipse: Arten, Eigenschaften, Verarbeitung	162
6.3.3	Anhydritbinder, Eigenschaften und Verarbeitung	163
6.4	Magnesiabinder	164
7	Beton	165
7.1	Klassen für die Umwelteinflüsse: Expositions- und Feuchteklassen	167
7.1.1	Bewehrungskorrosion verursacht durch Karbonatisierung	172

7.1.2	Bewehrungskorrosion verursacht durch Chloride	173
7.1.3	Betonkorrosion verursacht durch Frost und Frost-Taumittel ..	173
7.1.4	Betonkorrosion verursacht durch chemische Angriffe	174
7.1.5	Betonkorrosion verursacht durch mechanischen Abrieb	174
7.1.6	Feuchtekategorie	175
7.2	Ausgangsstoffe zur Herstellung von Beton mit dichter Gesteinskörnung (Normalbeton)	175
7.2.1	Zement	175
7.2.2	Gesteinskörnung	177
7.2.3	Wasser	178
7.2.4	Wasser-Zement-Wert	180
7.2.5	Betonzusatzstoffe	183
7.2.6	Betonzusatzmittel	185
7.2.7	Mehlkorn	188
7.3	Frischbeton	189
7.3.1	Konsistenzklassen	189
7.3.2	Frischbetonrohddichte	193
7.3.3	Luftporengehalt p	194
7.3.4	Temperatur des Frischbetons T_{FB}	195
7.4	Festbeton	196
7.4.1	Klassen für die Eigenschaften von Festbeton	196
7.4.1.1	Druckfestigkeitsklassen C	196
7.4.1.2	Betonbauqualitätsklassen (BBQ)	198
7.4.2	Weitere Festigkeiten des Festbetons	199
7.4.3	Formänderungen des Festbetons	200
7.4.4	Trockenrohddichte des Festbetons	201
7.5	Festlegungen der Betonzusammensetzung im Regelwerk	201
7.5.1	Beton nach Eigenschaften	201
7.5.2	Beton nach Zusammensetzung	202
7.6	Zusammensetzung des Betons, Mischungsentwurf	202
7.7	Mischen, Befördern, Fördern, Einbringen von Beton	208
7.7.1	Mischen	208
7.7.2	Befördern und Fördern	209
7.7.3	Einbringen	209
7.7.4	Zum Entmischen	211
7.7.5	Betonieren bei niedrigen und hohen Temperaturen	211
7.7.6	Ausschalen/Nachbehandlung	213
7.8	Qualitätssicherung, Konformität (Übereinstimmung)	216
7.8.1	Qualitätssicherung im Transportbetonwerk	217
7.8.2	Qualitätssicherung auf der Baustelle	217
7.9	Verwendung von Normalbeton als Betonware und Fertigteile ..	219
7.9.1	Betonwerkstein	219
7.9.2	Platten, Bord- und Pflastersteine	220
7.9.3	Rohre und Formstücke	220
7.9.4	Produkte für Mauerwerk und Dach	221
7.10	Schwerbeton	221
7.11	Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung	222

7.12 Leichtbeton	223
7.12.1 Konstruktionsleichtbeton und Stahlleichtbeton	224
7.12.1.1 Ausgangsstoffe	226
7.12.1.2 Wassergehalt	227
7.12.1.3 Zusatzmittel	227
7.12.1.4 Eigenschaften von Konstruktionsleichtbeton	227
7.12.1.5 Mischungsentwurf	229
7.12.1.6 Herstellung und Überwachung	231
7.12.2 Weitere Arten von Leichtbeton	232
7.12.3 Verwendung von Leichtbeton als Betonware und Fertigteile	233
7.12.3.1 Zwischenbauteile für Stahl- und Spannbetondecken	233
7.12.3.2 Stahlbetondielen nach DIN 4213	233
7.12.3.3 Formstücke für Hausschornsteine	234
7.12.3.4 Hohlwandplatten / Wandbauplatten	234
7.12.3.5 Produkte für Mauerwerk	234
7.12.4 Verwendung von Porenbeton als Betonware und Fertigteile	234
7.13 Betone für bestimmte Anwendungsgebiete	235
7.13.1 Wasserundurchlässiger Beton	235
7.13.2 Beton für den Umweltschutz	236
7.13.3 Beton für massige Bauteile	237
7.13.4 Hochfester Beton	238
7.13.5 Faserbeton	239
7.13.5.1 Fasern aus Stahl	240
7.13.5.2 Fasern aus Kunststoffen	241
7.13.5.3 Fasern aus Glas	242
7.13.5.4 Fasern aus Kohlenstoff	243
7.13.6 Faserzementbaustoffe	243
7.13.7 Carbonbeton und Textilbeton	244
7.13.8 Beton für hohe Gebrauchstemperaturen	245
7.14 Betone mit besonderen Einbauverfahren	246
7.14.1 Spritzbeton	246
7.14.2 Unterwasserbeton	248
7.14.3 Beton für Bohrpfähle und Schlitzwände	250
7.14.4 Vakuumbeton	250
7.14.5 Selbstverdichtender Beton	251
7.14.6 Sichtbeton	252
7.14.7 Beton für Verkehrsflächen	253

8 Keramische Baustoffe und Glas 255

8.1 Technologie keramischer Baustoffe	255
8.2 Allgemeine Eigenschaften keramischer Baustoffe	256
8.3 Mauerziegel	257

8.4	Dachziegel	257
8.5	Steingut, Steinzeug und Porzellan	258
8.5.1	Keramische Fliesen und Platten	259
8.5.2	Steinzeug für die Kanalisation	259
8.6	Feuerfeste Baustoffe	260
8.7	Glas	260
8.7.1	Technologie, allgemeine Eigenschaften und Verarbeitung	260
8.7.2	Flachglasarten	261
8.7.3	Isoliergläser	262
8.7.4	Sicherheitsgläser	263
8.7.5	Weitere Glasbaustoffe	263
8.7.6	Glaswolle und Glasfasern	264

9 Mauerwerk und Mörtel 265

9.1	Ausgangsstoffe	265
9.2	Mauersteine	266
9.2.1	Gebrannte Mauerziegel und Klinker	266
9.2.1.1	Mauerziegel – Arten	266
9.2.2	Kalksandsteine	274
9.2.3	Porenbetonsteine	278
9.2.4	Leichtbetonsteine	278
9.2.5	Normalbetonsteine	279
9.3	Mörtel	279
9.3.1	Ausgangsstoffe	279
9.3.2	Zusammensetzung der Mörtel	280
9.3.3	Haftung	280
9.3.4	Prüfung	281
9.3.5	Mörtelarten	281
9.3.5.1	Mauermörtel	281
9.3.5.2	Putzmörtel	282
9.3.5.3	Verlege- und Fugenmörtel	286
9.3.5.4	Estrichmörtel	287
9.3.5.5	Einpressmörtel	291
9.4	Mauerwerk – Aufbau	292
9.4.1	Einschaliges Mauerwerk	294
9.4.2	Zweischaliges Mauerwerk	294
9.4.3	Sonderformen	295
9.5	Eigenschaften von Mauerwerk	295
9.5.1	Druckfestigkeit	295

10 Bitumen und bitumenhaltige Baustoffe 299

10.1	Herstellung und Gewinnung von Bitumen	300
10.2	Eigenschaften von Bitumen	300
10.3	Bitumenarten und Anwendungsformen	301

10.4	Prüfung von Bitumen	304
10.4.1	Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK) nach DIN EN 1427	304
10.4.2	Nadelpenetration nach DIN EN 1426	305
10.4.3	Brechpunkt nach Fraaß nach DIN EN 12 593	306
10.4.4	Elastische Rückstellung nach DIN EN 13 398	306
10.4.5	Streckeigenschaften mit dem Kraft-Duktilitäts-Verfahren nach DIN EN 13 589	307
10.4.6	Weitere Prüfungen	307
10.5	Asphaltmischgut für den Straßenbau	307
10.5.1	Asphaltbauweisen	308
10.5.2	Gesteinskörnungen für Asphalt	309
10.5.3	Asphaltmischgutarten und -sorten	311
10.5.4	Zusammensetzung und Eigenschaften der verschiedenen Asphaltmischgutarten	312
10.5.5	Wiederverwendung von Asphalt	317
10.5.6	Performance-Prüfung	317
10.6	Bitumenhaltige Beläge im Holzbau	319
10.6.1	Gussasphalt-Estrich	319
10.6.2	Asphaltplatten	320
10.7	Bitumenhaltige Stoffe für Abdichtungen	320
10.7.1	Anstrichstoffe	321
10.7.2	Bitumenbahnen	321
10.7.3	Fugenvergussmassen	323

11 Kunststoffe 325

11.1	Herstellung und Arten	325
11.1.1	Polymere Werkstoffe	330
11.1.1.1	Elastomere (Vulkanisate, Gummi)	330
11.1.1.2	Thermoplastische Elastomere	331
11.1.1.3	Thermoplaste (Plastomere)	331
11.1.1.4	Duroplaste (Duromere)	331
11.1.2	Formgebung und Verarbeitung	332
11.1.2.1	Halbzeug, Form- und Fertigteile	332
11.1.2.2	Schaumkunststoffe	333
11.1.2.3	Plastische Kunststoffe	333
11.1.2.4	Flüssige Kunststoffe	333
11.2	Eigenschaften der Kunststoffe	334
11.2.1	Physikalische Eigenschaften	336
11.2.2	Mechanische Eigenschaften	337
11.2.3	Beständigkeit	339
11.3	Kunststofferzeugnisse	340
11.3.1	Geformte Kunststoffe	341
11.3.2	Membranen	343
11.3.3	Schaumkunststoffe	343
11.3.4	Fugendichtungsmassen	345

11.3.5	Anstrichstoffe und Klebstoffe	345
11.3.6	Kunstharmörtel und Kunstharzbeton	347

12 Membranen 349

12.1	Beschichtete Gewebe	349
12.1.1	Aufbau	350
12.1.2	Materialtypen	352
12.1.3	Eigenschaften	352
12.2	Folien	359
12.2.1	Eigenschaften	360

13 Bauschäden 363

13.1	Arten und Ursachen von Bauschäden	365
13.2	Häufige Schäden an Baustoffen	365
13.3	Verantwortlichkeit	366
13.4	Vermeidung von Bauschäden	367

14 Systeme für den Oberflächenschutz von Beton 369

14.1	Hydrophobierung	370
14.2	Imprägnierung	371
14.3	Beschichtung	372
14.4	Oberflächenschutzsysteme (OS-Systeme)	377
14.4.1	OS 1 (OS-A)	377
14.4.2	OS 2 (OS-B)	377
14.4.3	OS 4 (OS-C)	378
14.4.4	OS 5 (OS-D)	379
14.4.5	OS 5a (OS-DII)	379
14.4.6	OS 5b (OS-DI)	379
14.4.7	OS 8	380
14.4.8	OS 9 (OS-E)	380
14.4.9	OS 11 (OS-F)	381
14.4.10	OS 14	382
14.5	Graffitischutzsysteme	382
14.6	Brückenabdichtungen nach ZTV-ING	383
14.7	Beschichtungen als Abdichtung oder Teil einer Abdichtung	384
14.7.1	OS 7 (TL/TP-BEL-EP bzw. TL/TP-BEL-B)	384
14.7.2	OS 10 (TL/TP-BEL-B)	385
14.7.3	OS 13	385

Literaturverzeichnis	387
-----------------------------------	------------

Stichwortverzeichnis	403
-----------------------------------	------------

Alle am Baugeschehen Beteiligten haben die besondere Verantwortung, zweckmäßige, gut gestaltete, standsichere, dauerhafte Bauwerke zu erstellen, die frei von Schäden sind und die mit einem niedrigen Aufwand an Energie betrieben und mit einem vertretbaren Aufwand an Arbeit und Material erhalten werden.

Dieses Ziel lässt sich nur erreichen, wenn die anerkannten Regeln der Bautechnik beachtet werden. Diese basieren auf praktischen Erfahrungen und wissenschaftlichen Erkenntnissen. Zu den anerkannten Regeln der Technik gehört auch die richtige Auswahl und Verarbeitung der verschiedenen Baustoffe entsprechend ihrer Eigenschaften und unter Berücksichtigung der möglichen späteren Einwirkungen. Bei den Planern und Ausführern werden somit profunde Kenntnisse der mechanisch-technologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften der Baustoffe und ein verantwortungsvolles Umgehen damit vorausgesetzt.

1.1 Historische Entwicklung

Als Baustoffe wurden von den Menschen zunächst die örtlich vorhandenen natürlichen Materialien benutzt, vor allem Naturstein, Lehm und Holz. Die Anwendung von Naturstein und Holz verbesserte sich langsam und stetig durch Erfahrungen und durch die Entwicklung der Werkzeuge für deren Bearbeitung. Von Lehm kam man durch das Brennen zu festeren und wasserbeständigeren Ziegeln und anderen verfeinerten keramischen Baustoffen. Wegen ihrer höheren Beständigkeit gegen Feuer, Feuchtigkeit und Schädlinge wurden ausgewählte Natursteine und Ziegel vor allem für bedeutendere Bauwerke wie Paläste, Tempel und Kirchen bevorzugt. Wegen der im Vergleich zu Holz viel geringeren Biegefestigkeit dieser Baustoffe waren bei Decken und Dächern nur geringe Spannweiten der Balken möglich, oder es wurden Gewölbe errichtet.

Seit ca. 2000 v. Chr. wurden durch Brennen von Gipsstein und Kalkstein Bindemittel gewonnen, die – mit Wasser angemacht – leicht verarbeitbar waren und im erhärteten Zustand steinartige Massen ergaben. Sie erleichterten die Herstellung von Wänden und Gewölben und verbesserten deren Tragfähigkeit. Im Mittelmeerraum und später im Römischen Reich wurden die Wasserbeständigkeit und Festigkeit von Kalkmörtel durch Zusatz von vulkanischen Stoffen (Puzzolanen) oder durch Brennen mergeliger Kalksteine

so gesteigert, dass damit auch wasserdichte Bauteile und Gewölbe aus Beton («opus caementitium») hergestellt werden konnten.

Weitere Materialien wurden im Altertum nur selten als Baustoffe verwendet, so Glas oder Metalle (für Tore und Beschläge) oder Bitumen (in Mesopotamien für Mörtel, Bodenbeläge und im Wasserbau).

Bis ins Mittelalter hinein wurden die Baustoffe in ihrer Art und Qualität wenig weiterentwickelt; doch wurde mit ihnen schon sehr viel besser konstruiert.

Mit dem Aufschwung der Naturwissenschaften und mit der Industrialisierung fand eine quantitative und qualitative Steigerung der Produktion von keramischen Baustoffen, von Glas, von mineralischen Bindemitteln und vor allem von Eisenwerkstoffen, insbesondere von Stahl, statt. Seit Ende des 19. Jahrhunderts ist es durch besondere Auswahl der Ausgangsstoffe bzw. durch eine ganz bestimmte Zusammensetzung der Bestandteile (Synthese) und durch verfeinerte Herstellungsverfahren (Technologie) möglich geworden, gezielt Baustoffe mit bestimmten physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften sowie für besondere Anwendungsgebiete zu produzieren. Dies gilt nicht nur für die bisher bekannten traditionellen Baustoffe. Vor allem Stahlbeton – eine Kombination aus Beton und Stahl – ermöglicht vielfältige wirtschaftlich und technisch günstige Konstruktionen. Er hat die Entwicklung im Baugeschehen geprägt.

Zu den neuen Baustoffen gehören auch konstruktiv eingesetztes Glas, die bituminösen Baustoffe, die Nichteisenmetalle und vor allem eine große Anzahl an Kunststoffen.

Heute wird zunehmend darauf geachtet, dass die Gewinnung der Rohstoffe und deren Verarbeitung zu Baustoffen ressourcenschonend und umweltfreundlich erfolgen. Ein besonderer Wert wird auf die Wiederverwendbarkeit gelegt; z. B. werden Abfallstoffe bei der Herstellung von Baustoffen verwendet, und es werden alte ausgebrochene Baustoffe nach Aufbereitung z. T. wiederverwendet (Recycling). Der gesteigerte Umweltschutz führt zu einer geringen Belastung der Gebäude infolge von schädlichen Umwelteinflüssen. Die Entwicklung der Baustoffe wird heute durch die laufend fortgeschriebene Normung gefördert. Gleichzeitig wurden die Vorschriften so erweitert, dass die Dauerhaftigkeit und Gesundheit mitberücksichtigt werden.

Wie in der Vergangenheit werden auch in der Zukunft die verschiedenen Baustoffe und deren Weiterentwicklung die Bauweisen und die Bautechnik maßgeblich mitbestimmen.

1.2 Systematik der Baustoffe

Die Übersicht über die Vielzahl der Baustoffe und deren Eigenschaften wird erleichtert, wenn sie nach Kriterien betrachtet und unterteilt werden.

1.2.1 Einteilung nach der stofflichen Beschaffenheit

Eine Übersicht über die verschiedenen Baustoffarten zeigt Tabelle 1.1.

Nach stofflicher Beschaffenheit wird unterschieden in organische Baustoffe, wie z. B. Holz und anorganische Baustoffe, die unterteilt werden in metallische (z. B. Stahl) und mineralische Baustoffe (z. B. Naturstein).

Manche Baustoffe sind Kombinationen der verschiedenen Gruppen, wie folgende Beispiele zeigen:

- Stahlbeton ist eine Kombination aus Beton (mit geringer Zugfestigkeit) und Stahlbewehrung (mit hoher Zugfestigkeit und eigentlich sehr korrosionsempfindlich, im Beton jedoch vor Korrosion geschützt).
- Holzwolleleichtbauplatten werden hergestellt aus Holzwolle (leicht, wärmedämend, zäh, brennbar, fäulnisempfindlich) und mineralischen Bindemitteln (nicht brennbar, fäulnisunempfindlich).
- Glasfaserverstärkte Kunststoffe bestehen aus Kunstharzen (geringer E-Modul, hohe Wärmedehnzahl) und Glasfasern (hohe Zugfestigkeit, hoher E-Modul und geringe Wärmedehnzahl).

Nach ihrer **Zusammensetzung** werden die Baustoffe wie folgt unterteilt:

- **Homogene** bzw. **1-Komponenten-Baustoffe** weisen an jeder Stelle die gleichen makroskopischen Eigenschaften auf. Sie bestehen aus nur einer Phase oder nur aus Bestandteilen in einem Aggregatzustand. Das Werkstoffverhalten ist in allen Richtungen gleich, diese Eigenschaft wird **Isotropie** genannt. Beispiele für solche isotropen Werkstoffe sind Glas und Reismetalle.
- **Inhomogene (heterogene)** bzw. **Mehrkomponenten-Baustoffe** bestehen aus mehreren Komponenten mit unterschiedlichen Eigenschaften. Das Werkstoffverhalten ist abhängig von der Prüfrichtung – eine Eigenschaft, die **Anisotropie** genannt wird. Beispiele sind Beton, Mörtel und Asphalt. Beton wird aus Bindemittelleim, auch als Matrix bezeichnet, sowie zerkleinertem Gestein hergestellt. Die Eigenschaften des Betons werden bestimmt durch die Eigenschaften der einzelnen Komponenten Matrix und Gestein sowie von deren Wechselwirkungen und Volumenverhältnis.

Nach dem **Gefügebau** werden unterschieden:

- **Kristalline Baustoffe** sind Stoffe, deren Atome bzw. Moleküle in Kristallgittern angeordnet sind. Feinkristalline Strukturen sind isotrop. Ihre Kristalle sind so klein, dass sich die richtungsabhängigen Eigenschaften nicht auswirken. Grobkristalline Strukturen hingegen werden anisotrop, so haben beispielsweise mineralische Baustoffe grobkristalline Strukturen und weisen ein richtungsabhängiges sprödes Materialverhalten auf.
- **Amorphe Baustoffe** sind Stoffe, deren Atome bzw. Moleküle nicht in Kristallgittern angeordnet sind. Die Materialeigenschaften sind richtungsunabhängig. Sie haben eine geringere Wärmeleitfähigkeit als kristalline Stoffe, Beispiele sind Glas, Bitumen und Kunststoffe.
- **Fasrige Baustoffe** sind anisotrop und weisen je nach Faserrichtung unterschiedliche Eigenschaften auf. Sie besitzen in Faserrichtung eine hohe Zugfestigkeit, Beispiele sind Holz und Baustoffe mit Stahl- oder Kunststofffasern.

Tabelle 1.1 Einteilung der Baustoffe nach der stofflichen Beschaffenheit

Hauptgruppe	anorganische Baustoffe		organische Baustoffe (aus Kohlenwasserstoffverbindungen)
	mineralische	metallische	
Baustoffe (Beispiele)	Natursteine Keramische Baustoffe Glas Beton und Mörtel	Gusseisen Stahl Aluminium Kupfer	Holz Holzwerkstoffe Bituminöse Baustoffe Kunststoffe
Allgemeine spezifische Eigenschaften (siehe Kapitel 1.4)			
Dichte	mittel (bis gering)	groß ¹⁾	gering
mechanische Eigenschaften	spröde, geringe Zugfestigkeit	zäh ²⁾ , hohe Zugfestigkeit	zäh, z. T. thermoplastisch
Brennbarkeit	nicht brennbar	nicht brennbar	brenn- und zersetzbar

¹⁾ Ausnahme Leichtmetalle, z. B. Aluminium, Titan

²⁾ Ausnahme Gusseisen und gehärteter Stahl

1.2.2 Einteilung nach der Entstehung und Herstellung

a) Natürliche Baustoffe

Natursteine sind vor Millionen von Jahren entstanden und wurden zum Teil durch Verwitterung an der Erdoberfläche und auch durch mechanische Beanspruchung in Moränen und Flüssen zu Kies, Sand und Lehm zerkleinert. Holz und in bestimmten Regionen der Erde Bambus sind nachwachsende Baustoffe. Außerdem gibt es Naturasphalte, das sind in der Natur vorkommende Gemische von Bitumen und feinkörnigem Gestein. Die stoffliche Beschaffenheit von Natursteinen und Holz wird bei der Bearbeitung in Stein- bzw. Säge- und Holzwerken nicht verändert.

b) Künstliche Baustoffe

sind alle übrigen Baustoffe. Sie werden nach bestimmten Verfahren (Technologien) aus natürlichen Rohstoffen hergestellt; dabei wird die stoffliche Beschaffenheit der Ausgangsstoffe (z. B. der chemische Aufbau) mehr oder weniger stark verändert, um Baustoffe mit bestimmten Eigenschaften herzustellen.

1.2.3 Einteilung nach der Verarbeitung

a) Gestaltlose, ungeformte Baustoffe

sind lose oder plastisch bis flüssig. Aus ihnen werden auf der Baustelle oder in einem Werk die endgültigen Baustoffe hergestellt. Dazu zählen

- Zwischenstoffe, z. B. Bindemittel oder Gesteinskörnung.
- die sogenannten Bauhilfsstoffe wie Anstrich- und Klebstoffe, Zusätze und Holzschutzmittel. Durch diese Stoffe lassen sich bestimmte Baustoffeigenschaften gezielt verändern.
- fertiggemischte Baustoffe, z. B. Frischbeton, Asphalt, Gießharze. Mit ihnen können monolithische Bauteile ohne Fugen hergestellt werden.

Die Weiterentwicklung auf dem Gebiet der metallischen Werkstoffe ist vor allem darauf gerichtet, die Festigkeiten zu steigern, wodurch eine Verringerung der Querschnitte der Bauteile möglich ist und damit eine Reduzierung der Masse. Gleichzeitig erforderlich sind eine gute Zähigkeit, die Eignung zum Schweißen sowie eine Verbesserung des Korrosionswiderstandes.

2.1 Allgemeine Technologie und Eigenschaften

Metalle finden sich – mit Ausnahme von Edelmetallen und Kupfer – in der Natur vorwiegend in Form chemischer Verbindungen. Sie sind mit mineralischen Stoffen (Gangart) vermischt. Die Metalle werden in der Regel aus geeigneten bergmännisch geförderten Erzen mit technischen Aufbereitungsverfahren wie Schmelzen oder Elektrolyse gewonnen. Dabei wird das Erz von Fremdstoffen weitgehend gereinigt («raffiniert») und das Metalloxid reduziert.

Die im Bauwesen verwendeten metallischen Werkstoffe sind meist Legierungen; durch bestimmte Legierungszusätze werden einige Eigenschaften des Reinmetalls deutlich verbessert, andere können sich dabei jedoch verschlechtern, z. B. eine Erhöhung der Festigkeit führt zu geringerer Zähigkeit. Die mechanischen Eigenschaften der Metalle werden einerseits durch den noch vorhandenen Gehalt an Verunreinigungen beeinflusst und andererseits dadurch, welches Gefüge während der Herstellung und infolge von mechanischen Einwirkungen entsteht.

In Tabelle 2.1 sind die im Bauwesen verwendeten metallischen Werkstoffe und wichtige allgemeine Eigenschaften aufgeführt. Werkstoffe werden nach Werkstoffnummern bestellt, die genau festgelegte Zusammensetzungen und Eigenschaften garantieren.

Tabelle 2.1 Wichtige Eigenschaften metallischer Werkstoffe

Werkstoffe ¹⁾ aus	Dichte [g/cm ³]	Elastizitätsmodul [N/mm ²]	Wärmedehnkoeffizient [mm/m · K]	Farbe	Formbarkeit und Schweißbarkeit	Korrosion durch
Aluminium ²⁾ (Al)	2,7	70 000	0,023 bis 0,024	silber- weiß	in der Regel gut verformbar, je nach Legierung ²⁾ unter Schutzgas schweißgeeignet	Säuren, Rauchgase, Kalk- und Zement- mörtel, Chloride
Zink (Zn)	7,15	100 000	0,029	bläulich weiß	spröde, bei 160...150 °C formbar	Säuren, Rauchgase, Kalk- und Zement- mörtel, Chloride, Tauwasser
Eisen ³⁾ (Fe)	7,2 bis 7,9	100 000 bis 210 000	0,010 bis 0,012	dunkel- bis weißgrau	je nach Kohlen- stoffgehalt und Vorbehandlung spröde bis zäh bzw. schweißge- eignet	Feuchtigkeit und Sauerstoff, Säuren, Gips, Chloride
Zinn (Sn)	7,3	55 000	0,020	glänzend weiß	sehr weich und dehnbar	Zerfall bei Kälte
Blei (Pb)	11,3	16 000	0,029	bläu- lich-grau	besonders weich und dehnbar, schweißgeeignet	Salpetersäure, organische Säuren, weiches und koh- lensäurehaltiges Wasser, Kalk- und Zementmörtel
Kupfer (Cu)	8,9	100 000 bis 130 000	0,017	hellrot	sehr geschmeidig, schweißgeeignet	Ammoniak, Chloride

¹⁾ Reihenfolge in der elektrochemischen Spannungsreihe von Al (unedler) bis Cu (edler).

²⁾ zu Eigenschaften und Anwendung des Aluminiums siehe auch Tabelle 2.9.

³⁾ Die kleinen Werte gelten für gewöhnliches Gusseisen, die größeren Werte für Stahl, siehe auch Tabelle 2.2.

2.1.1 Metallbindungen und -gefüge, Einflüsse auf das Gefüge

Metallbindungen sind Bindungen zwischen gleichen oder verschiedenen Elementen mit gleicher oder mit geringerer Anzahl von Valenzelektronen. In der Regel haben alle Metalle 2 oder 3 Valenzelektronen, die sie zu einem gemeinsamen negativ geladenen «Elektronengas» abgeben. Das Elektronengas zwischen den positiven Atomkernen bewirkt den elektrostatischen Zusammenhalt. Die Bindung ist allseits gerichtet (isotrop). Bei Verschiebung bleibt der Zusammenhalt bestehen (kein Abstoßeffekt). Diese Bindungen sind gekennzeichnet durch gute elektrische und thermische Leitfähigkeit sowie durch gute plastische Verformbarkeit.

Metallgefüge

Die idealisiert kugeligen Atome sind in der Schmelze ungeordnet und frei beweglich. Beim Erstarren der Schmelze durch Abkühlung ordnen sie sich nach einem festen,

Holz und Holzwerkstoffe

3

Als natürlicher organischer Baustoff wird Holz wegen seiner geringen Masse und Wärmeleitfähigkeit, seiner hohen Zähigkeit und seiner leichten Bearbeitbarkeit eingesetzt. Infolge der großen Artenvielfalt, des inhomogenen Aufbaus und des anisotropen Materialverhaltens treten große Unterschiede der mechanisch-technologischen Eigenschaften auf, die auch noch von der Feuchte des Holzes stark beeinflusst werden.

Die Beständigkeit von Holz wird durch Feuchtigkeit, biologische Schädlinge und Feuer besonders gefährdet.

Holz ist nicht einfach zu normen, weil es aus verschiedenartigen Teilen aufgebaut ist (inhomogen), in verschiedenen Richtungen unterschiedliche Eigenschaften aufweist (anisotrop) und Holzfehler enthalten kann, die das Materialverhalten beeinträchtigen. Durch das Zusammensetzen von kleinen fehlerfreien Holzteilen entstehen mehr oder weniger homogene Holzwerkstoffe, deren Eigenschaften weniger schwanken.

3.1 Aufbau des Holzes und Holzfehler

Der Nährstofftransport des Baumes von den Wurzeln bis in die Blätter erfolgt über die Zellen und bestimmt den Aufbau des Holzes, bei dem die langfasrigen Zellen parallel zum Stamm gerichtet sind. Bei Hölzern wird unterschieden in

- **Nadelholz (NH)** ist entwicklungsgeschichtlich älter. Es besteht aus langgestreckten, spindelförmigen Mehrzweckzellen (Tracheiden), die für Nährstofftransport und Festigkeit zuständig sind;
- **Laubholz (LH)** ist entwicklungsgeschichtlich jünger. Die Zellen sind funktionell unterteilt in langgestreckte Leitzellen (Tracheen) und kurze Speicherzellen, die als Stützzellen für die Festigkeit verantwortlich sind.

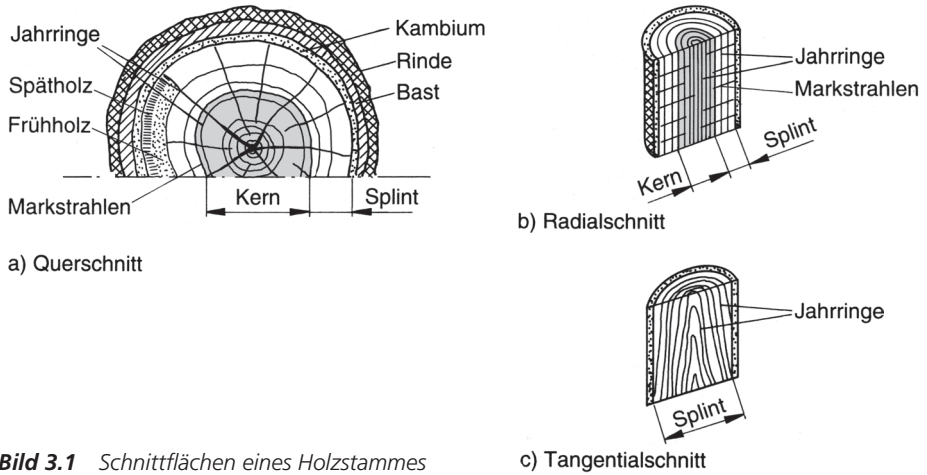


Bild 3.1 Schnittflächen eines Holzstammes

Dieser von anderen Baustoffen abweichende Aufbau führt zu den besonderen Eigenschaften des Holzes.

3.1.1 Makroskopischer Aufbau

In Bild 3.1 ist an unterschiedlichen Schnittflächen der makroskopische Aufbau gezeigt. Die **Borke (Rinde)** bietet einen äußeren Schutz gegen Austrocknung und mechanische Beschädigung. Darunter befindet sich der lebende Teil der Borke, **Bast** genannt, gefolgt vom **Kambium**, der eigentlichen Wachstumsschicht, in der Bastzellen nach außen und Splintzellen nach innen wachsen.

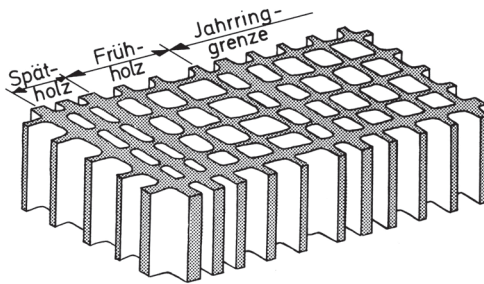


Bild 3.2

Ausbildung der Früh- und Spätholzzellen bei Nadelholz [3.1]

Die im Frühjahr wachsenden dünnwandigen und großporigen (weitlumigen) Zellen bilden das helle und weiche **Frühholz** (Bild 3.2). Das dunklere **Spätholz** mit dickwandigen und englumigen Zellen entsteht während des Sommerwachstums. Die Härte und Festigkeit des Holzes werden durch den Anteil an Spätholz bestimmt.

Frühholz und Spätholz bilden die in gemäßigten Zonen gut erkennbaren **Jahrringe**, die die Dickenzunahme des Baumes in einem Jahr darstellen.

Die radial bis in die Rinde verlaufenden **Markstrahlen** dienen dem horizontalen Nährstofftransport, vor allem bei Laubholz.

Naturstein

Unter dem Begriff «Naturstein» werden alle natürlich vorkommenden Gesteine zusammengefasst. Natursteine kommen in großer Vielfalt vor. Sie werden im Bauwesen in unbearbeiteter und bearbeiteter Form für vielerlei technische Aufgaben verwendet:

Als Fassadenbekleidungen werden sie als großformatige, dünnwandige Platten durch Dübel an der Tragkonstruktion befestigt. Als Verblendmauerwerk oder Massivmauerwerk werden kleinformatige Steine als Vorsatzschalen oder zur Verkleidung von Stützmauern und Brückenpfeilern verwendet. Im Hochbau wird außer einer guten architektonischen Wirkung vor allem ein dauerhafter Schutz der Bauwerke gegen Witterungseinflüsse und mechanische Einwirkungen erwartet.

Bei der Gestaltung von Außenanlagen werden Natursteine bei Treppen und als Gehwegplatten oder Gartenplatten verwendet, im Innenausbau als Bodenbeläge oder Fensterbänke. Bei Treppen, Pflaster und Bordsteinen ist ein hoher Verschleißwiderstand erforderlich. Zur Verringerung der Rutschgefahr sollte die Oberfläche griffig sein. Größere gebrochene Steine dienen im Gleisbau als grober, fester Schotter zur Bettung der Gleise und verbessern im Tiefbau die Stabilität der Konstruktionen. Kleinere ungebrochene oder gebrochene Körnungen werden als Ausgangsstoff zur Herstellung von Beton und Asphalt verwendet, wo sie die Tragfähigkeit, den Verschleißwiderstand und die Griffigkeit erhöhen. Fein gemahlene Gesteinsmehle werden bestimmten Natursteinarten als Bindemittel oder als Zusatzstoff eingesetzt oder bei der Herstellung von Kalk, Gips, Zement weiterverarbeitet.

4.1 Aufbau und Hinweise für die Auswahl

Die Natursteine bestehen aus verschiedenen Mineralien mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung, Farbe, Festigkeit und Härte. Die Eigenschaften der Mineralien sind zusammen mit der Porosität maßgebend für die physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften der Natursteine. Die Form und Größe von Kristallen und Einschlüssen bestimmen das Aussehen.

Von Natursteinen, die im Freien vielfachen ungünstigen Einwirkungen der Witterung ausgesetzt sind, wird gemäß DIN 52 106 eine gute Verwitterungsbeständigkeit und vor allem Frostbeständigkeit, gefordert.

Da infolge der Einwirkung von aggressiven Medien und Wasser unter Umständen Ausblühungen, Auslaugungen und Verschmutzungen auftreten können, ist eine geringe Wasseraufnahme vorteilhaft. Das tatsächliche Verhalten der Natursteine wird nach Möglichkeit an besonders exponierten Teilen von ausgeführten Bauwerken beobachtet.

Bei der Auswahl von Natursteinen muss auch der notwendige und je nach Härte oft sehr unterschiedliche Aufwand für die Bearbeitung berücksichtigt werden.

4.2 Entstehung

Der Entstehung der Natursteine liegt ein Zyklus zugrunde, der mit der Erstarrung der Erdkruste beginnt und der sich fortsetzt in der Plattentektonik (Verschiebung der Erdschollen) und Vulkanaktivitäten, der Verwitterung durch klimatische Einflüsse, im Weitertransport der Verwitterungsprodukte durch Wasser und Wind, in der Sedimentation und/oder in der Umwandlung durch Druck und chemische Einwirkungen.

Darauf aufbauend unterscheidet die Geologie drei Hauptgruppen:

- Erstarrungs-/Eruptivgesteine,
- Ablagerungsgesteine, Sedimente,
- Umwandlungsgesteine/metamorphe Gesteine.

4.2.1 Erstarrungs-/Eruptivgestein

Erstarrungsgesteine entstanden aus einer siliziumhaltigen Schmelze aus dem Erdinneren (als Magma bezeichnet), die durch Hitze, Druck und Erdkrustenbewegungen in höhere Gesteinsstockwerke an die Erdoberfläche gelang (Vulkanausbruch). Je nach Gesteinslage unterscheidet man dabei Tiefengesteine, Ganggesteine und Ergussgesteine. Abhängig von der Abkühlungsgeschwindigkeit beim Erstarren ist das Gefüge grobkristallin bis feinkristallin. Bei einem Kieselsäuregehalt von über 65 % wird das Gestein als «sauer» (z. B. Granit), bei weniger als 52 % als «basisch» (z. B. Basalt) bezeichnet. Gesteine mit hohem Quarzgehalt sind heller, leichter und etwas spröder als mit geringem Quarzgehalt.

Einzelheiten über die verschiedenen Erstarrungsgesteine finden sich in Tabelle 4.1.

Beim **Tiefengestein** ist das Magma in der oberen Erdkruste steckengeblieben und kühlte sehr langsam ab. Durch die langsame Kristallbildung entsteht eine grobe und dichte Kristallstruktur. Beispiel: Granit, ein «saures» Gestein mit einem SiO_2 -Gehalt von etwa 65...82 % besteht aus den Hauptmineralen Feldspat, Quarz und Glimmer. Je nach Zusammensetzung hat Granit eine weißliche Farbe oder ist gelblich-rötlich, wenn Eisenoxide vorhanden sind. Wegen seiner hohen Festigkeit (f_c bis 240 N/mm²) und Dichte ($\rho \approx 2650 \text{ kg/m}^3$) wird er vielseitig verwendet.

Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton werden entsprechend DIN EN 1992 1-1 bemessen und gemäß DIN EN 13 670 mit der in Deutschland geltenden DIN 1045-3 ausgeführt.

Die Herstellung von Beton, seine Festlegung, seine Eigenschaften und Konformität ist in DIN EN 206 und DIN 1045-2 geregelt. Im Mittelpunkt dieser Normen steht die Gewährleistung der Dauerhaftigkeit.

DIN EN 13 369 und DIN 1054-4 enthalten ergänzende Regeln für die Herstellung und Konformität von Fertigteilen.

Diese Regelwerke gelten für Normal-, Leicht-, Schwer- und Spannbetone, die als Baustellen- oder Transportbeton oder als Beton in einem Fertigteilwerk für Hoch- und Ingenieurbau hergestellt werden. Sie gelten nicht für Porenbeton, Schaumbeton, Beton mit haufwerksporigem Gefüge und Leichtbeton mit Rohdichte $\rho < 800 \text{ kg/m}^3$ u. a.

Anforderungen für Beton können auch in anderen Normen angegeben sein, z. B. die für Straßenbeton, Spritzbeton oder für Betone mit besonderen Anforderungen in den Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

Merksatz

Beton ist ein künstlicher Stein. Im vereinfachten Modell wird Beton als Dreistoffsystem dargestellt bei dem die Gesteinskörnung mit einem Leim, aus Zement und Wasser, so zusammengehalten, dass der Beton im frischen Zustand in eine Form gegossen werden kann, wo er zu einem festen und dauerhaften Material erhärtet.



Solange sich Beton im verarbeitbaren und verdichtbaren Zustand befindet, wird er als **Frischbeton** bezeichnet. Seine endgültigen Eigenschaften erreicht Beton erst durch die chemische Reaktion des Zementes mit Wasser und den sich daran anschließenden Erhärtungsprozessen. Durch das Erhärten des Zementleims zu Zementstein wird die steife Gesteinskörnung in die Zementmatrix eingebettet und fest und dauerhaft mit ihr verbunden. Das erhärtete Material ist wasserbeständig und relativ spröde. Es kann hohe Drucklasten, aber nur geringe Zugkräfte aufnehmen. Durch die einfache Formgebung des Betons und die Möglichkeit, die Zugkräfte durch eine eingebettete Bewehrung aus Stahl abzutragen, wurden bedeutsame Fortschritte auf allen Gebieten der Bautechnik erzielt. Die Betontechnologie hat in letzten Jahrzehnten sowohl hinsichtlich der

zweckentsprechenden Zusammensetzung des Betons als auch seiner maschinellen Verarbeitung eine große Entwicklung erlebt. Die Verwendung neuer Produkte aus der Bauchemie hat dazu geführt, dass das Dreistoffsystem Beton zu einem Mehrkomponentenstoff wurde. Verschiedene Mischungsverhältnisse der Ausgangsstoffe führen zu Betonen mit unterschiedlichen Eigenschaften.

Die wichtigsten mechanisch-technologischen Eigenschaften des Betons sind Festigkeit und Dichte. Diese stehen beim Betonentwurf gleichrangig im Vordergrund und werden im frischen und festen Zustand des Betons von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst, wie z. B.

- dem Wasserzementwert w/z ,
- den Eigenschaften der Gesteinskörnung
- dem Zementgehalt, der Zementleimmenge und der Zementart,
- der Art und Güte des Mischens des Frischbetons,
- der Konsistenz und der Verarbeitbarkeit,
- der Art und Güte der Verdichtung,
- den Umgebungsbedingungen beim Einbau
- den Temperaturen von Beton und Luft,
- der Nachbehandlung,
- den Erhärtingsbedingungen und
- dem Erhärtingsalter.

Zusammenfassend sind dies:

- die Wahl der Ausgangsstoffe,
- die Zusammensetzung des Betons,
- die Herstellung,
- die Verarbeitung.

Beton sollte bei einem möglichst niedrigen Wasserzementwert ein dicht gelagertes Korngerüst aufweisen, das die Kraftabtragung über die Gesteinskörnung ermöglicht, und eine angepasste Zementleimmenge enthalten, wodurch die Wirtschaftlichkeit und Dauerhaftigkeit und der Korrosionsschutz der Bewehrung erreicht werden.

Für das Erreichen von Festigkeit und Dauerhaftigkeit im erhärteten Zustand sind neben der Zusammensetzung des Betons das Zusammenhaltevermögen, die Verarbeitbarkeit und die Verdichtungswilligkeit im frischen Zustand von ausschlaggebender Bedeutung. Jede Sorgfalt und Nachbehandlung, die dem Frischbeton und dem jungen Beton gewidmet wird, kommt der Dauerhaftigkeit und Festigkeit des später erhärteten Betons zugute.



Merksatz

Zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Bauwerken und Bauteilen aus Beton enthalten die Normen ein System von unterschiedlichen Klassen:

- Klassen für die Umwelteinflüsse
 - Expositionsklassen
 - Feuchteklassen
- Klassen für die Eigenschaften des Frischbetons
 - Konsistenzklassen

Mauerwerk und Mörtel

Die Bemessung von Mauerwerk erfolgt nach EN 1996, Eurocode 6. Mauerwerk besteht aus Mauersteinen, die mit einem Mauermörtel verbunden sind.

9.1 Ausgangsstoffe

Als Mauersteine können verwendet werden:

- gebrannte Mauerziegel – Kapitel 9.2.1,
- Kalksandsteine – Kapitel 9.2.2,
- Porenbetonsteine – Kapitel 9.2.3,
- Leichtbetonsteine – Kapitel 9.2.4,
- Normalbetonsteine – Kapitel 9.2.5,
- Block- und Plansteine aus Porenbeton – Kapitel 9.2.6,
- Wandbauplatten aus Leichtbeton – Kapitel 9.2.7.

Die **Formate** sind in Tabelle 9.3 und Bild 9.1 aufgeführt, Bild 9.2 zeigt Beispiele. Die Prüfung von Mauersteinen erfolgt nach DIN EN 772.

Die Anforderungen an **Mauersteine**, gleichzeitig eine hohe Festigkeit und einen ausreichenden Schallschutz sowie einen verbesserten Wärmeschutz zu gewährleisten, führt zu einem immer mehr optimierten Lochbild. Wegen des Trends zum wirtschaftlichen, rationellen Bauen wurden großformatige Mauersteine und vorgefertigte Wandelemente erstellt. Diese Entwicklungen führten dazu, dass in Deutschland für Mauersteine über 100 allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen oder allgemeine Bauartgenehmigungen (abZ/aBG) und weitere Europäische Technische Zulassungen (ETA) erteilt wurden, die mittlerweile den größten Teil der Mauersteinproduktion abdecken.

Der **Mörtel** wird nach DIN EN 998-2 in Verbindung mit der Anwendungsnorm DIN 20000-412 hergestellt und nach DIN EN 1015 Teil 1–Teil 21 geprüft. Zusätzlich gilt DIN 18 580. Als Bindemittel kann Kalk, Zement oder eine Mischung von Zement und Kalk verwendet werden. Normal-Mauermörtel darf nach DIN EN 1996-1-1 Mauermörtel nach Eignungsprüfung in Übereinstimmung mit EN 998-2 oder Mauermörtel nach Rezept in Übereinstimmung mit EN 998-2 sein; Dünnbettmörtel sollten Mörtel nach

Eignungsprüfung in Übereinstimmung mit EN 998-2 sein. Gegebenenfalls sind Vorschriften der MVV TB zu beachten.

9.2 Mauersteine

9.2.1 Gebrannte Mauerziegel und Klinker

Gebrannte Mauerziegel und Klinker sind genormt nach DIN EN 771-1 und DIN 20000-401. Sie bestehen aus Ton oder anderen tonhaltigen Stoffen mit oder ohne Sand, Brennstoffen oder anderen Zusätzen. Ziegel werden bei einer ausreichend hohen Temperatur gebrannt, um einen keramischen Verbund zu erzielen.

Ziegel werden unterhalb der Sintergrenze gebrannt, Klinker im Sinterbereich, wodurch die Dichte größer wird.

9.2.1.1 Mauerziegel – Arten

Nach EN 771-1 werden Ziegel in zwei Arten unterteilt:

- für die Verwendung in ungeschütztem Mauerwerk (U-Ziegel, u-unprotected) und
- für die Verwendung in geschütztem Mauerwerk (P-Ziegel, p-protected).

Zudem gibt es nach DIN EN 771-1, DIN 20 000-401 und DIN 105-4 unterschiedliche Lochungsarten und Mauerziegeltypen:

- Vollziegel Mz mit einem Anteil an Lochung quer zur Lagerfläche bis zu 15 %,
- Hochlochziegel HLZ mit Lochungsart A, B, E (Tabelle 9.1),
- Vormauer-Hochlochziegel VHLZ mit durch spezielle Prüfung nachgewiesener Frostbeständigkeit,
- Hochlochziegel W als P-Ziegel mit Lochungsart W,
- Wärmedämmende P-Ziegel mit erhöhter Anforderung an die Wärmedämmung,
- Planziegel mit besonderer Anforderung an die Maßhaltigkeit hinsichtlich der Höhe,
- Langlochziegel mit Löchern parallel zur Lagerfläche,
- Vollklinker KK,
- Hochlochklinker KHK mit Lochungsarten A, B.

Eine Übersicht der Ziegel- und Lochungsarten nach DIN 20000-401 ist in Tabelle 9.1 aufgelistet, die Anforderungen nach DIN EN 771-1:2015-11, DIN 20000-401:2017-01 und DIN 105-4:2019-01 zeigt Tabelle 9.2.

Mauerziegel werden entweder nach Norm produziert oder erhalten, wenn sie aus Innovationsgründen wesentlich davon abweichen, eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ).

Bitumen und bitumenhaltige Baustoffe

10

Bearbeitet von Prof. Dr.-Ing. Leyla Chakar

Als Baustoff wird Bitumen im Straßen- und Wasserbau zur Herstellung von Asphaltmischgütern, Bitumenemulsionen, Estrichen, Beschichtungen, Spachtel- oder Fugenvergussmassen und Dichtungsbahnen verwendet.

Bitumen ist ein organischer Baustoff und wird aus Erdöl gewonnen. Oft wird Bitumen mit Pech oder Teer verwechselt, die durch die thermische Zersetzung (Pyrolyse) von Braun- oder Steinkohle gewonnen werden und die seit den Achtzigerjahren aufgrund ihrer karzinogenen Wirkung nicht mehr verwendet werden dürfen.

Bitumen

Bitumen wird im Bauwesen vielfach eingesetzt als Bindemittel im Asphaltmischgut für Verkehrsflächen und als Ausgangsstoff für Bauprodukte aus dem Bereich Bautenschutz und Abdichtung (Dachbahnen, Deponieabdichtungen, Abdichtungen im Wasserbau). Je nach geplanter Verarbeitung ist ein bestimmter Flüssigkeitsgrad des Bitumens notwendig, der auch als Zähflüssigkeit oder Viskosität bezeichnet wird.

Bitumen ist bei hohen Temperaturen niedrigviskos und einfach verarbeitbar. Die Verarbeitung ist hingegen bei feuchter und kalter Witterung mit Schwierigkeiten verbunden. Bitumen erreicht sofort nach dem Abkühlen seine Eigenschaften für den Dauergebrauch.

Durch Zusätze von Ölen oder Lösungsmitteln oder durch Emulgieren in Wasser lassen sich die Bindemittel auch bei niedriger Temperatur verarbeiten. Sie erreichen ihre endgültigen Eigenschaften aber erst nach Verflüchtigung der zugesetzten Stoffe bzw. durch Brechen der Emulsion.

Gemische aus bitumenhaltigem Bindemittel, Füller, Gesteinskörnungen und gegebenenfalls Zusätzen werden als **Asphaltmischgut** bezeichnet. Für Asphaltmischgut aus einem Gesteinskörnungsgemisch mit einem Größtkorn bis 2 mm, dessen Hohlräume vollständig mit Bitumen und Füller ausgefüllt sind, wird der Begriff **Mastix** verwendet.

10.1 Herstellung und Gewinnung von Bitumen

Bitumen kommt in der Natur vor und kann industriell aus Erdöl gewonnen werden. Auf der Erde finden sich eine ganze Anzahl natürlicher Asphaltvorkommen als Gemische aus Naturbitumen und Mineralstoffen mit unterschiedlichen Qualitäten. Davon am bedeutendsten und im Bereich des Straßenbaus weltweit verwendet ist der sog. Trinidad-Asphalt. Er wird auf der Insel Trinidad in einem «Asphaltsee» abgebaut und besteht aus einem Gemisch aus mineralischen Feinstbestandteilen mit einem harten Naturbitumen. Nach Aufbereitung wird er unter dem Handelsnamen «Trinidad Epuré» in Blockform oder granuliert vertrieben. Haupteinsatz ist die Verwendung zur Verbesserung des Verformungswiderstandes von Asphaltstraßen bei hohen Temperaturen.

Technisch wird Bitumen als ein Produkt aus der Destillation von geeignetem Rohöl (Erdöl) gewonnen. Die Destillation erfolgt in Raffinerien durch fraktionierte Destillation. Dabei werden dem erhitzten Erdöl zunächst in einem ersten Destillationsprozess unter atmosphärischen Bedingungen leichtflüchtige Bestandteile wie Gase, Benzine oder Petroleum entzogen. Nach weiterer Erhitzung erfolgt in einer zweiten Stufe eine Vakuumdestillation, bei der weitere, weniger flüchtige Bestandteile des Rohöls abgezogen werden. Der Rückstand aus diesem Prozess ist das sog. Destillationsbitumen oder Straßenbaubitumen, das weiterverarbeitet wird.

10.2 Eigenschaften von Bitumen

Bitumen ist ein dunkelfarbiges Gemisch verschiedener organischer Substanzen, dessen elastoviskoses Verhalten sich mit der Temperatur verändert. Bei Raumtemperatur ist es hart und wird bei steigenden Temperaturen weich. Ab rd. 150 °C wird es flüssig. Der Vorgang ist reversibel. Bitumen besitzt keinen ausgeprägten Schmelzpunkt.

Tabelle 10.1 zeigt eine Übersicht der allgemeinen Merkmale von Bitumen. Für seine Verwendung sind die wichtigsten Eigenschaften:

Bitumen

- ist wasserunlöslich,
- hat eine gute Klebefähigkeit,
- ist widerstandsfähig gegen chemische Einwirkungen (Säuren, Laugen),
- ist löslich in Benzin, Benzol, Toluol, Trichlorethylen, Perchlorethylen,
- versprödet bei niedrigen Temperaturen,
- ist als Naturprodukt nachgewiesen gesundheitlich unschädlich und aromatisch riechend,
- hat bei einer Bezugstemperatur von 25 °C eine Dichte von $\rho_{25} \approx 1,01 \dots 1,07 \text{ g/cm}^3$, bestimmt im Pyknometer bei 25 °C Bitumen- und Wassertemperatur,
- ist alterungsempfindlich (Oxidation durch Luftsauerstoff, UV-Strahlung),
- hat eine plastische Formänderung, die stark abhängig von der Dauer und Größe der Krafteinwirkung ist und
- ist entflammbar.

Kunststoffe sind Stoffe, die synthetisch oder halbsynthetisch aus monomeren makromolekularen organischen Molekülen hergestellt werden. Einige Kunststoffe werden auch als Baustoffe eingesetzt. Die vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten von Kohlenstoffatomen unter sich und mit den Atomen anderer Elemente ergeben unterschiedliche Stoffe mit unterschiedlichen Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften.

Für die mechanischen Eigenschaften der Kunststoffe und damit für ihre Standsicherheit gelten meist andere Gesetzmäßigkeiten als für herkömmliche Baustoffe. Bei Kunststoffen sind besonders das Langzeit- und Temperaturverhalten wichtig. Für tragende Bauteile eignen sich bedingt Kunststoffe mit Faserverstärkung.

Kunststoffe erlauben vielfältige Fertigungstechniken, Anwendungen und auch gestalterische Möglichkeiten. Sie haben folgende Vorteile:

- eine einfache Formgebung,
- eine geringe Dichte und Wasseraufnahme,
- ein Verhalten, das eingestellt werden kann,
- eine gute chemische Beständigkeit und
- eine gute Wärmedämmung.

Nachteil in der Anwendung ist die Abhängigkeit des mechanischen Verhaltens von der Größe und Dauer der aufgetragenen Kräfte, von der Temperatur und von der Witterung. Kunststoffe sind brennbar oder zersetzen sich bei hohen Temperaturen.

11.1 Herstellung und Arten

Die Ausgangsprodukte für Kunststoffe sind kohlenstoffhaltig und werden überwiegend aus Erdöl, Erdgas und Kohle gewonnen. Wasser, Luft, Kochsalz u. a. liefern weitere zum Aufbau der Kunststoffe notwendige Elemente, wie Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Chlor. Für die halborganischen Silicone kommt zusätzlich noch Silizium hinzu. Die niedermolekularen Ausgangsprodukte werden durch Synthese zu hochmolekularen Stoffen verkettet. Die Synthese erfolgt meist unter Wärmezufuhr, unter erhöhtem Druck, durch andere Energieanstöße oder durch Initiatoren.

Für die Verkettung gibt es je nach Art der Grundbaustoffe drei verschiedene Verfahren der Makromolekülbildung:

Merksatz

Die **Polymerisation** ist eine exotherme chemische Reaktion, bei der Monomere (meist ungesättigte organische Verbindungen gleicher Art) unter Einfluss von Katalysatoren sich miteinander zu Molekülen mit langen Ketten (Polymeren) verbinden.

Bei der **Polyaddition** werden unter Einfluss von Katalysatoren verschiedenartige Monomere verknüpft, wobei Wärme frei wird.

Die **Polykondensation** ist eine stufenweise ablaufende Kondensationsreaktion, bei der aus vielen Monomeren niedrigmolekularer Stoffe Makromoleküle gebildet werden. Dies geschieht unter Abspaltung von einem oder mehreren Nebenprodukten. Diese Nebenprodukte sind einfach gebaute Moleküle wie Wasser, Ammoniak, Alkohole oder Chlorwasserstoff. Polymerisationskunststoffe aus verschiedenartigen Monomeren werden Copolymere genannt.

Für höher entwickelte Kunststoffe werden auch verschiedene Verfahren kombiniert, indem z. B. zunächst Zwischenprodukte durch Polykondensation aufgebaut werden, die bei der endgültigen Verarbeitung weiter verknüpft werden.

Die Makromoleküle erhalten je nach Synthese und Stoffart einen unterschiedlichen Aufbau (Bild 11.1):

- einfache, lineare Ketten oder Fäden, evtl. mit Verzweigungen und «Aufpfropfungen» (Thermoplaste),
- räumlich schwach oder stark vernetzte Ketten (Elastomere und Duroplaste).

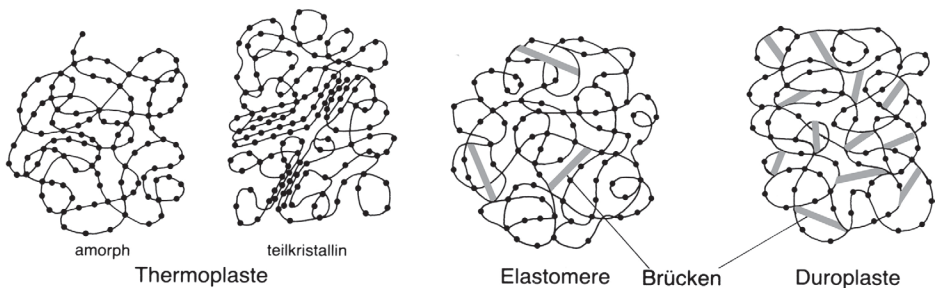


Bild 11.1 Molekülaufbau der Kunststoffe

Der unterschiedliche Molekülaufbau von Thermoplasten, Elastomeren und Duroplasten führt auch zu unterschiedlichen Eigenschaften, die im Folgenden weiter besprochen werden.

Der chemische Aufbau der Kunststoffe ist maßgebend für die Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeit, Chemikalien und Alterung. Die Beweglichkeit der Makromoleküle bestimmt die Größe, die Gestalt und vor allem das physikalische Verhalten der Kunststoffe. Festigkeit und Wärmebeständigkeit können verbessert werden durch Erhöhung des Molekulargewichts, durch Vernetzen, Versteifen oder Verstrecken der Molekülketten. Durch derartige Behandlungen verwandelt sich die amorphe Struktur von Kunststoffen in eine teilkristalline Struktur oder zumindest in orientierte Molekülketten.

Für Kunststoffe sind bestimmte Kurzbezeichnungen festgelegt worden (Tabelle 11.1).

Im Membranbau, der textilen Architektur, werden Gewebe – üblicherweise mit Beschichtung – und Folien für weitgespannte Flächentragwerke eingesetzt. Neben Überdachungen sind zunehmend auch Fassaden aus Geweben und Folien in der Architektur zu finden.

12.1 Beschichtete Gewebe

Die im Membranbau am häufigsten eingesetzten beschichteten Gewebe sind:

- PVC (Polyvinylchlorid) beschichtete Polyestergewebe und
- PTFE (Polytetrafluorethylen) beschichtete Glasfasergewebe.

Daneben waren und sind z. T. silikonbeschichtete Glasfasergewebe und fluorpolymerbeschichtete PTFE-Gewebe, HDPE (High Density Polyethylen)-Gewebe z. T. mit Polyethylen- oder LDPE (Low Density Polyethylen)- Beschichtung erhältlich.

Neben Geweben mit durchgängig aufgebrachter Beschichtung existieren Gittergewebe mit größeren Fadenabständen, bei denen die Fäden direkt beschichtet oder auch beidseitig mit Folien laminiert werden.

Die im Bauwesen verwendeten Materialien sind i d. R. nicht geregelte Bauprodukte, mit Ausnahme von leichten beschichteten Geweben, die in DIN 18204-1 geregelt sind und vorwiegend für den Bau von Bierzelten und Lagerhallen eingesetzt werden.

Hinweis

Bei den beschichteten Geweben handelt es sich um Verbundmaterialien, bei denen das Gewebe der Übertragung von Zugkräften dient, während die Beschichtung die Aufgabe übernimmt, das Gewebe gegen Strahlung und Feuchte zu schützen, und auch die Kraftübertragung in Schweißnähten sicherstellt.



Entsprechend der Webrichtungen Kette (Längsrichtung) und Schuss (Querrichtung) besitzen Gewebe ein anisotropes Verhalten. Ihr Verhalten ist viskoelastisch. Über die Zeit kriechen und relaxieren diese Gewebe.

12.1.1 Aufbau

Garne

Gewebe werden durch Weben von üblicherweise aus Fasern aufgebauten Garnen hergestellt. Die Fasern bestehen aus Spinnfasern oder endlos langen Filamenten aus hochfestem Polyester und Glas. Fadenfestigkeit und -anzahl sind ausschlaggebend für die Festigkeit des Gewebes.

Fasern mit einem Durchmesser ab ca. 4 µm werden durch Spinndüsen aus der Schmelze hergestellt und anschließend zu mehreren verzwirnt, um die Fadenfestigkeit zu erhöhen.

Charakterisiert werden Garne durch ihre Anzahl von Filamenten, die Dicke, die Feinheit, die Zwirnung (Verdrehung mehrerer Fäden) und die Veredelung wie beispielsweise eine Hydrophobierung (Low-wick). Nach ISO 1144 und DIN 60905 wird die Garnfeinheit mit dem Verhältnis von Masse zu Länge beschrieben. Üblicherweise wird die Größe in der Einheit dtex angegeben: 1 dtex = 1 g/10 000 m.

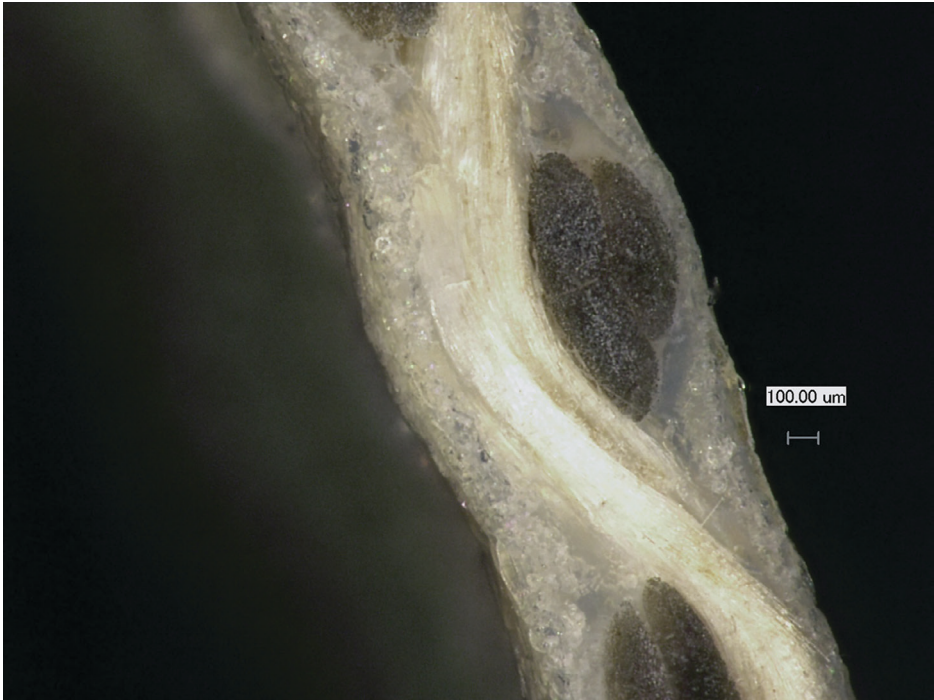


Bild 12.1 Fadenquerschnitt, Mikroskopaufnahme (© Rainer Blum)

Bild 12.1 zeigt ein Garn im Querschnitt, das aus zahlreichen Filamenten und drei verzwirnten Fäden besteht.

Gewebe

Garne werden bei der Herstellung auf Spulen gewickelt. In Webmaschinen werden die Längsfäden des Gewebes (Kettfäden) von den zu einem Kettbaum zusammengefassten Spulen abgewickelt. Durch Auf- und Abbewegung sich abwechselnder Kettfäden und

Systeme für den Oberflächenschutz von Beton

Materialien für den Oberflächenschutz von Betonbauwerke erhöhen zeitlich begrenzt die Widerstandsfähigkeit der Betonbauteile gegen eine Vielzahl von äußeren Einwirkungen und Beanspruchungen. Wegen der zeitlichen Begrenzung ihrer Wirksamkeit werden sie gegenüber einer ausreichend dichten und dicken Betondeckung nicht als gleichwertig betrachtet.

Es werden drei Typen von Oberflächenschutzschichten unterschieden:

- Hydrophobierung,
- Imprägnierung,
- Beschichtung.

Damit der Oberflächenschutz seine geplanten Eigenschaften erreicht, sind die Angaben des Herstellers hinsichtlich Vorbereitung der Unterlage (Rauheit, Temperatur, Feuchtegehalt, Oberflächenzugfestigkeit) zu prüfen und die Verarbeitungsbedingungen müssen strikt eingehalten werden. Die Ausführung ist entsprechend der Anweisungen bzw. den Technischen Merkblätter des Herstellers vorzunehmen. Es dürfen nur Betriebe mit dafür qualifiziertem Baustellenfachpersonal daran beteiligt sein (z. B. Nachweis SIVV-Schein).

Bei der Ausführung muss sichergestellt werden, dass die vom Hersteller angegebenen erforderliche Schichtdicken erreicht wurden.

Auf der Baustelle kann die Schichtdicke kontrolliert werden durch:

- Erfassung des Verbrauchs nach Gewicht bei bekannter Materialdichte,
- Messung der Nassschichtdicke mit einem Nassfilm-Dickenmesser,
- Messung der Trockenfilmdicke mit Schieblehren bzw. Fühllehren,
- Differenzschichtdickenmessung gemäß DIN 50933,
- Messung der Trockenfilmdicke mittels Keilschnittverfahren gemäß DIN 50986,
- Messung der Trockenfilmdicke mittels Paint-Bohrer,
- Messung der Trockenfilmdicke am Bohrkern.

Oberflächenschutzsysteme (OS-Systeme) werden in verschiedene Klassen OS 1 bis OS 14 eingeteilt, diese Klassen werden detailliert in Kapitel 14.4 beschrieben.



Merksatz

Für **OS 5b**, **OS 9** und **OS 11** ist gemäß ZTV-ING die Schichtdicke der Beschichtung je angefangenen 350 m², jedoch mindestens je abgeschlossener Tagesleistung durch Messungen an mindestens 40 gleichmäßig über die Fläche verteilten Stellen gemäß dem in der Leistungsbeschreibung festgelegten Verfahren zu prüfen. Bei Prüfungen an Bohrkerne erfolgt die Prüfung an 5 Stellen von 8 Bohrkerne.

Werden gemäß ZTV-ING Kontrollprüfungen durchgeführt, erfolgt die Prüfung der fertigen Beschichtung nach Augenschein. Sind zur Prüfung Abreißprüfungen vorgesehen, werden diese je angefangenen 350 m² beschichtete Flächen an drei gleichmäßig über die Fläche verteilten Stellen vorgenommen.

14.1 Hydrophobierung

Die in Bild 14.1 dargestellte Hydrophobierung entsteht infolge des Aufbringens einer wasserabweisenden Substanz, die in die Poren eindringt. Sie bildet keinen sichtbaren Film an der Oberfläche des Betons oder Mörtels und verändert das Aussehen nicht.

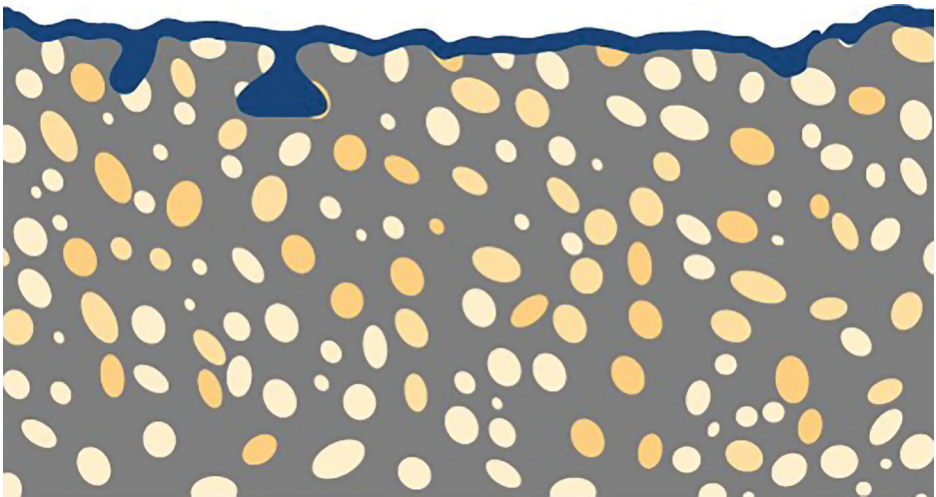


Bild 14.1 Hydrophobierung

Die Hydrophobierungsstoffe dringen je nach Porosität des Betons bis in eine Tiefe von ca. 10 mm in die Betonunterlage ein und führen zu einer Verminderung der Wasseraufnahme und damit verbunden zu einer Verminderung des Eindringens von beton- und stahlangreifenden Stoffen, ohne dass die Wasserdampfdiffusionsfähigkeit behindert wird. Gleichzeitig wird auch die Neigung zur Verschmutzung durch Algen, Moose und Pilze vermindert und der Frost- und der Frost-Tausalz-Widerstand verbessert. Der anfängliche Abperleffekt reduziert sich im Laufe der Zeit, die Wirkung der Hydrophobierung in der Tiefe bleibt jedoch erhalten.

Die Hydrophobierung wird mit Silanen und Siloxanen durchgeführt.