

Vogel Fachbuch

Kamprath-Reihe

Weber / Bruy

# Baustoffkunde

mit aktuellen Normen



---

Weber / Schäffler / Bruy / Schelling

Baustoffkunde

---

Kamprath-Reihe

Prof. Dr.-Ing. Silvia Weber  
Prof. Dr.-Ing. Hermann Schäffler  
Prof. Dr.-Ing. Erhard Bruy

# Baustoffkunde

Aufbau und Technologie, Arten und Eigenschaften,  
Anwendung und Verarbeitung

11., neu bearbeitete 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, Betoninstandsetzung und Fertigungstechnik. Seit 2006 Leitung Labor für Baustoffkunde.

**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 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.

Als weiterer Titel aus diesem Themengebiet ist bei Vogel Business Media erschienen:

Thomas Mallon: Bauchemie

---

**Weitere Informationen:  
[www.vbm-fachbuch.de](http://www.vbm-fachbuch.de)**

---

ISBN 978-3-8343-3396-4  
11. Auflage. 2017

E-Book ISBN 978-3-8343-6215-5

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.

Printed in Germany

Copyright 1975 by

Vogel Business Media GmbH & Co. KG,

Würzburg

Satzherstellung:

Da-TeX Gerd Blumenstein, [www.da-tex.de](http://www.da-tex.de)

---

# Vorwort

---

Kenntnisse über Werkstoffe, die für Konstruktion, Bau und Ausbau von Bauwerken gebraucht werden, 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.

Das Buch vermittelt diese Zusammenhänge für wichtige Baustoffe anschaulich und übersichtlich. Diese 11. Auflage wurde völlig neu bearbeitet und mit den derzeitigen 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.

Der Erstautor des Buches, Prof. Dr.-Ing. SCHÄFFLER, ist im Jahr 2007 verstorben. An seine Stelle ist Frau Prof. Dr.-Ing. SILVIA WEBER als Mitautorin getreten.

Silvia Weber  
Erhard Bruy



# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	5
<b>1 Grundlagen .....</b>	<b>13</b>
1.1 Historische Entwicklung .....	13
1.2 Systematik der Baustoffe .....	14
1.2.1 Einteilung nach der stofflichen Beschaffenheit .....	14
1.2.2 Einteilung nach der Entstehung und Herstellung .....	15
1.2.3 Einteilung nach der Verarbeitung .....	15
1.2.4 Einteilung nach bestimmten Funktionen in den Bauteilen .....	16
1.3 Vorschriften .....	16
1.4 Eigenschaften der Baustoffe und ihre Prüfungen .....	18
1.4.1 Gestalt und Maße .....	18
1.4.2 Masse, Dichte und Porosität .....	18
1.4.2.1 Masse .....	18
1.4.2.2 Dichte, Rohdichte, Schüttdichte .....	19
1.4.2.3 Porosität .....	19
1.4.3 Verhalten der Baustoffe gegenüber Wasser .....	20
1.4.3.1 Feuchtegehalt .....	20
1.4.3.2 Wasseraufsaugen und Wasseraufnahme .....	21
1.4.3.3 Wasserundurchlässigkeit .....	21
1.4.3.4 Maßnahmen gegen Durchfeuchtung .....	22
1.4.4 Festigkeiten .....	22
1.4.4.1 Druckfestigkeit .....	23
1.4.4.2 Zugfestigkeit .....	23
1.4.4.3 Biegefestigkeit .....	24
1.4.4.4 Weitere Festigkeitsarten und Prüfungen .....	25
1.4.5 Härte und Verschleißwiderstand .....	25
1.4.5.1 Härte .....	26
1.4.5.2 Eindruckwiderstand .....	26
1.4.5.3 Verschleißwiderstand (Abnutzwiderstand) .....	27
1.4.6 Formänderungen .....	27
1.4.6.1 Verformungsverhalten bei mechanischer Beanspruchung .....	28
1.4.6.2 Formänderungen infolge von Temperaturänderungen .....	30
1.4.6.3 Schwinden und Quellen .....	30
1.4.6.4 Maßnahmen gegen Schäden durch Verformungen .....	30
1.4.7 Beständigkeit .....	31
1.4.7.1 Raumbeständigkeit .....	31
1.4.7.2 Beständigkeit gegenüber Wasser und Frost .....	31
1.4.7.3 Beständigkeit gegenüber dem Kristallisationsdruck von Salzen .....	31
1.4.7.4 Alterungsbeständigkeit .....	32
1.4.7.5 Chemische Beständigkeit (Korrosionswiderstand) .....	32
1.4.7.6 Beständigkeit gegen pflanzliche und tierische Schädlinge .....	32
1.4.7.7 Beständigkeit gegen Feuer und Hitze .....	32
1.4.8 Wärmeschutz .....	33
1.4.8.1 Begriffe .....	33
1.4.9 Schallschutz .....	34
1.4.10 Gesundheit, Emissions- und Strahlenschutz .....	34
1.5 Gewährleistung der Eigenschaften .....	35
1.5.1 Kontrolle der Baustoffe .....	35
1.5.2 Streuung und Statistik .....	36

<b>2</b>	<b>Metalle</b>	37
2.1	Allgemeine Technologie und Eigenschaften	37
2.1.1	Metallbindungen und -gefüge, Einflüsse auf das Gefüge	37
2.1.2	Formgebung und Metallverbindungen	40
2.1.3	Mechanische Eigenschaften	41
2.1.4	Korrosion und Korrosionsschutz	42
2.1.5	Alterung	43
2.2	Eisen und Stahl	43
2.2.1	Gusseisen	43
2.2.2	Technologie des Stahls	44
2.2.2.1	Herstellung	44
2.2.2.2	Klassifizierung der Stähle	45
2.2.2.3	Wärmebehandlung	46
2.2.2.4	Kaltverformung	47
2.2.2.5	Mechanisch-technologische Eigenschaften von Stahl	48
2.2.2.6	Dauerfestigkeit	50
2.2.2.7	Feuerwiderstand	50
2.2.2.8	Schweißen	51
2.2.3	Baustähle	51
2.2.4	Stähle mit hohem Korrosionswiderstand	54
2.2.5	Betonstähle	54
2.2.6	Spannstähle	57
2.2.7	Drahtseile	58
2.3	Nichteisenmetalle	59
2.3.1	Aluminium	59
2.3.1.1	Technologie des Aluminiums	59
2.3.1.2	Aluminiumwerkstoffe – Eigenschaften und Oberflächenbehandlung	60
2.3.2	Zink	61
2.3.3	Blei	61
2.3.4	Kupfer	61
<b>3</b>	<b>Holz und Holzwerkstoffe</b>	63
3.1	Aufbau des Holzes und Holzfehler	63
3.1.1	Makroskopischer Aufbau	63
3.1.2	Mikroskopischer Aufbau	64
3.1.3	Chemischer Aufbau	64
3.1.4	Inhomogenitäten und Holzfehler	64
3.2	Holzarten	65
3.3	Eigenschaften des Holzes	65
3.3.1	Dichte und Feuchtegehalt	65
3.3.2	Festigkeiten von Holz und Härte	67
3.3.3	Sortierkriterien	68
3.3.4	Charakteristische Werkstoffkennwerte	69
3.3.5	Formänderungen	69
3.3.6	Einflüsse auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften	71
3.3.7	Beständigkeit, Holzzerstörung und Holzschutz	72
3.3.7.1	Zerstörung durch Pilze	73
3.3.7.2	Zerstörung durch Insekten	73
3.3.7.3	Schutz gegen Pilze und Insekten	73
3.3.7.4	Zerstörung durch Feuer, vorbeugender Brandschutz	75
3.4	Lieferformen und Behandlung des Holzes	75
3.4.1	Lieferformen, Baumkante	75
3.4.2	Klebeverbindungen	76
3.4.3	Oberflächenbehandlung	76
3.5	Holzwerkstoffe	76
3.5.1	Technologie und allgemeine Eigenschaften	77
3.5.2	Arten und Anwendung der Holzwerkstoffe	78

<b>4</b>	<b>Natursteine</b> .....	79
4.1	Aufbau und Hinweise für die Auswahl .....	79
4.2	Entstehung .....	79
4.2.1	Erstarrungs-/Eruptivgestein .....	80
4.2.2	Ablagerungsgestein/Sedimente .....	81
4.2.3	Umwandlungsgesteine .....	83
4.3	Eigenschaften .....	83
4.4	Prüfungen von Naturstein .....	83
4.5	Verarbeitung der Natursteine .....	83
4.5.1	Naturwerksteine .....	83
4.5.2	Schotter, Splitt und Brechsand .....	85
<b>5</b>	<b>Gesteinskörnung</b> .....	87
5.1	Regelwerke, Definitionen .....	88
5.2	Arten und Bezeichnungen .....	88
5.3	Anforderungen .....	89
5.3.1	Geometrische Anforderungen .....	91
5.3.2	Physikalische Eigenschaften .....	92
5.3.3	Chemische Eigenschaften .....	94
5.4	Kornzusammensetzung, Sieblinien .....	95
5.4.1	Kornverteilung .....	95
5.4.2	Siebversuch .....	96
5.4.4	<i>k</i> -Wert und <i>D</i> -Summe .....	96
5.4.3	Sieblinien .....	97
5.4.5	Zusammensetzung eines Korngemisches .....	97
5.4.5.1	Zusammensetzung von Korngemischen durch Vergleich der Siebdurchgänge ...	99
5.4.5.2	Zusammensetzung von Korngemischen durch rechnerisches Verfahren .....	99
5.5	Qualitätskontrolle und Konformitätsnachweis .....	100
5.6	Allgemeine Hinweise .....	100
5.7	Regelungen in DIN 1045-2 im Zusammenhang mit der Betonherstellung .....	101
<b>6</b>	<b>Bindemittel</b> .....	103
6.1	Baukalke .....	103
6.1.1	Technologie und Erhärtung .....	103
6.1.2	Baukalkarten, Eigenschaften, Verarbeitung und Verwendung .....	104
6.2	Zemente .....	106
6.2.1	Technologie und Erhärtung .....	106
6.2.2	Zementarten, Eigenschaften .....	107
6.2.3	Anforderungen und Prüfungen von Zement .....	109
6.2.5	Lagerung und gesundheitliche Aspekte .....	111
6.3	Weitere hydraulische Stoffe und Bindemittel .....	112
6.4	Baugipse und Anhydritbinder .....	112
6.4.1	Technologie und Erhärtung .....	112
6.4.2	Baugipsarten, Eigenschaften und Verarbeitung .....	113
6.4.3	Anhydritbinder, Eigenschaften und Verarbeitung .....	114
6.5	Magnesiabinder .....	114
<b>7</b>	<b>Beton</b> .....	115
7.1	Expositionsklassen .....	116
7.1.1	Bewehrungskorrosion infolge von Karbonatisierung .....	119
7.1.2	Bewehrungskorrosion infolge von Chloriden .....	121
7.1.3	Betonkorrosion infolge von Frost und Frost-Taumittel .....	121
7.1.4	Betonkorrosion infolge chemischer Angriffe .....	121
7.1.5	Betonkorrosion infolge mechanischen Abriebs .....	122
7.2	Ausgangsstoffe .....	122
7.2.1	Zement .....	122
7.2.2	Gesteinskörnung .....	123

7.2.3	Wasser	125
7.2.4	Wasser-Zement-Wert $\omega$	127
7.2.5	Betonzusatzstoffe	128
7.2.6	Betonzusatzmittel	131
7.2.7	Mehlkorngehalt	132
7.3	Eigenschaften des Frischbetons, Anforderungen	132
7.3.1	Konsistenz	132
7.3.2	Frischbetonrohddichte	135
7.3.3	Luftporengehalt $p$	136
7.3.4	Temperatur des Frischbetons $T_{FB}$	136
7.4	Eigenschaften des Festbetons, Anforderungen	137
7.4.1	Druckfestigkeit	137
7.4.2	Weitere Festigkeiten/Eigenschaften	138
7.4.3	Formänderungen	139
7.4.4	Trockenrohddichte	140
7.5	Zusammensetzung des Betons, Mischungsentwurf	140
7.6	Festlegungen der Betonzusammensetzung im Regelwerk	141
7.7	Mischen, Befördern, Fördern, Einbringen	142
7.7.1	Mischen	142
7.7.2	Befördern und Fördern	142
7.7.3	Einbringen	142
7.7.4	Zum Entmischen	144
7.7.5	Betonieren bei niedrigen und hohen Temperaturen	144
7.7.6	Nachbehandlung	146
7.8	Qualitätssicherung, Konformität (Übereinstimmung)	148
7.8.1	Qualitätssicherung im Transportbetonwerk	148
7.8.2	Qualitätssicherung auf der Baustelle	149
7.9	Besondere Betone	152
7.9.1	Hochleistungsbeton	157
7.9.2	Hochfester Beton	157
7.9.3	Selbstverdichtender Beton	158
7.10	Betonwaren und Fertigteile aus Normalbeton	158
7.10.1	Betonwerksteinerzeugnisse	159
7.10.2	Gehwegplatten, Bordsteine und Bordsteine	159
7.10.3	Betonrohre und Formstücke	159
7.10.4	Weitere Baustoffe aus Normalbeton	160
7.10.5	Faserbetonbaustoffe	160
7.11	Leichtbeton	161
7.11.1	Konstruktionsleichtbeton und Stahlleichtbeton	162
7.11.1.1	Ausgangsstoffe	162
7.11.1.2	Wassergehalt	163
7.11.1.3	Zusatzmittel	163
7.11.1.4	Eigenschaften von Konstruktionsleichtbeton	163
7.11.1.5	Mischungsentwurf	165
7.11.1.6	Herstellung und Überwachung	165
7.11.2	Arten von Leichtbeton	166
7.11.3	Verwendung von Leichtbeton als Betonware und Fertigteile	167
7.11.4	Verwendung von Porenbeton als Betonware und Fertigteile	168
8	<b>Keramische Baustoffe und Glas</b>	169
8.1	Technologie keramischer Baustoffe	169
8.2	Allgemeine Eigenschaften keramischer Baustoffe	170
8.3	Mauerziegel und Klinker	170
8.3.1	Arten	171
8.4	Dachziegel	174
8.5	Steingut, Steinzeug und Porzellan	175
8.5.1	Keramische Fliesen und Platten	175

8.5.2	Steinzeug für die Kanalisation .....	176
8.6	Feuerfeste Baustoffe .....	176
8.7	Glas .....	176
8.7.1	Technologie, allgemeine Eigenschaften und Verarbeitung .....	176
8.7.2	Flachglasarten .....	177
8.7.3	Isoliergläser .....	177
8.7.4	Sicherheitsgläser .....	178
8.7.5	Weitere Glasbaustoffe .....	179
8.7.6	Glaswolle und Glasfasern .....	179
<b>9</b>	<b>Mauerwerk und Mörtel .....</b>	<b>181</b>
9.1	Ausgangsstoffe .....	181
9.2	Aufbau .....	182
9.2.1	Einschaliges Mauerwerk .....	182
9.2.2	Zweischaliges Mauerwerk .....	182
9.2.3	Sonderformen .....	183
9.3	Eigenschaften von Mauerwerk .....	183
9.4	Mörtel .....	183
9.4.1	Ausgangsstoffe .....	184
9.4.2	Zusammensetzung der Mörtel .....	184
9.4.3	Haftung .....	184
9.4.4	Prüfung .....	185
9.4.5	Mörtelarten .....	185
9.4.5.1	Mauermörtel .....	185
9.4.5.2	Putzmörtel .....	187
9.4.5.3	Verlege- und Fugenmörtel .....	189
9.4.5.4	Estrichmörtel .....	189
9.4.5.5	Einpresmörtel .....	193
<b>10</b>	<b>Bitumen und bituminöse Baustoffe .....</b>	<b>195</b>
10.1	Herstellung und Gewinnung von Bitumen .....	195
10.1.1	Eigenschaften von Bitumen .....	195
10.2	Prüfen von Bitumen .....	196
10.2.1	Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK) DIN EN 1427 .....	196
10.2.2	Nadelpenetration DIN EN 1426 .....	196
10.2.3	Brechpunkt nach FRAAß DIN EN 12 593 .....	198
10.2.4	Prüfung der Duktilität DIN 52 013 .....	198
10.2.5	Weitere mögliche Prüfungen .....	198
10.3	Arten und Anwendungsformen .....	198
10.4	Mischgut für den Straßenbau .....	200
10.4.1	Mineralstoffe .....	201
10.4.2	Einbauweisen .....	202
10.4.3	Zusammensetzung und Eigenschaften der verschiedenen Schichten .....	202
10.4.4	Wiederverwendung von Asphalt .....	204
10.5	Bituminöse Beläge im Hochbau .....	204
10.5.1	Gussasphalt-Estrich .....	205
10.5.2	Asphaltplatten .....	205
10.6	Bituminöse Stoffe für Abdichtungen .....	206
10.6.1	Anstrichstoffe .....	206
10.6.2	Bitumenbahnen .....	206
10.6.3	Fugenvergussmassen .....	207
<b>11</b>	<b>Kunststoffe .....</b>	<b>209</b>
11.1	Herstellung und Arten .....	209
11.1.1	Polymere Werkstoffe .....	212
11.1.1.1	Elastomere (Vulkanisate, Gummi) .....	212
11.1.1.2	Thermoplastische Elastomere .....	212

11.1.1.3	Thermoplaste (Plastomere)	213
11.1.1.4	Duroplaste (Duromere)	213
11.1.2	Formgebung und Verarbeitung	213
11.1.2.1	Halbzeug, Form- und Fertigteile	214
11.1.2.2	Schaumkunststoffe	214
11.1.2.3	Plastische Kunststoffe	215
11.1.2.4	Flüssige Kunststoffe	215
11.2	Eigenschaften der Kunststoffe	217
11.2.1	Physikalische Eigenschaften	217
11.2.2	Mechanische Eigenschaften	218
11.2.3	Beständigkeit	219
11.3	Kunststofferzeugnisse	219
11.3.1	Geformte Kunststoffe	220
11.3.2	Schaumkunststoffe	222
11.3.3	Fugendichtungsmassen	222
11.3.4	Anstrichstoffe und Klebstoffe	223
11.3.5	Kunstharzmörtel und Kunstharzbeton	224
<b>12</b>	<b>Dämmstoffe, organische Fußbodenbeläge, Papiere und Pappen, Anstrichstoffe, Klebstoffe und Dichtstoffe</b>	<b>227</b>
12.1	Dämmstoffe	227
12.2	Organische Fußbodenbeläge	228
12.3	Papiere und Pappen	228
12.4	Anstrichstoffe	229
12.5	Klebstoffe und Dichtstoffe	231
<b>13</b>	<b>Bauschäden</b>	<b>233</b>
13.1	Arten und Ursachen	234
13.2	Häufige Schäden an Baustoffen	235
13.3	Verantwortlichkeit	236
13.4	Vermeidung von Bauschäden	236
<b>Anhang</b>		<b>237</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>257</b>
<b>Quellenverzeichnis der Bilder</b>		<b>265</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>		<b>267</b>

# 1 Grundlagen

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 vertretbarem 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 ihren Eigenschaften und unter Berücksichtigung der möglichen späteren Einwirkungen. Bei den Planern und Ausführem 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, die von Lehm 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 wurde Gewölbe verwendet.

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 (Puzzolane) 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, als 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 geringeren 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 als Kombination aus Beton (mit geringer Zugfestigkeit) und Stahlbewehrung (mit hoher Zugfestigkeit und eigentlich sehr korrosionsempfindlich, im Beton jedoch vor Korrosion geschützt).

Holzwoleleichtbauplatten werden hergestellt aus Holzwole (leicht, wärmedämmend, zäh, brennbar, fäulnisempfindlich) und mineralischen Bindemitteln (nicht brennbar, fäulnisunempfindlich).

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 Abschnitt 1.4)			
Dichte	mittel (bis gering)	groß <sup>1)</sup>	gering
mechanische Eigenschaften	spröde, geringe Zugfestigkeit	zäh <sup>2)</sup> hohe Zugfestigkeit	zäh, z. T. thermoplastisch
Brennbarkeit	unbrennbar	unbrennbar	brenn- und zersetzbar

<sup>1)</sup> Ausnahme Leichtmetalle, z. B. Aluminium, Titan.

<sup>2)</sup> Ausnahme Gusseisen und gehärteter Stahl.

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, also isotropisch, z. B. Glas, Reinformetalle.

**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, z. B. Beton, Mörtel, Asphalt. Beton wird aus Bindemittel, 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** wird unterschieden:

- **Kristalline Baustoffe**, das 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, z. B.: Mineralische Baustoffe haben 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, z. B. Glas, Bitumen, Kunststoffe.
- **Fasrige Baustoffe** sind anisotrop und weisen je nach Faserrichtung unterschiedliche

Eigenschaften auf. Sie besitzen in Faserrichtung eine hohe Zugfestigkeit, z. B. Holz, Baustoffe mit Stahl- oder Kunststofffasern.

## 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: Zwischenstoffe, z. B. Bindemittel, Gesteinskörnung. Hierzu zählen auch 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.

**b) Geformte Baustoffe**

kommen mit den endgültigen Maßen und Eigenschaften auf die Baustelle: Halbzeug, z. B. Holzbalken, Profile aus Metallen und Kunststoffen, die auf der Baustelle noch zugerichtet werden müssen; kleinformatige Baustoffe, z. B. Wandbausteine, Dachsteine oder Bodenplatten, die erst noch einer besonderen Verarbeitung (wie Vermörteln u. a.) bedürfen, um im Gesamtverband ihre Funktionen erfüllen zu können; großformatige Baustoffe oder Bauelemente, z. B. Wandelemente, Dachplatten, Brückenträger, die i. Allg. nur nach einfacher Befestigung ihre Funktion erfüllen können.

**1.2.4 Einteilung nach bestimmten Funktionen in den Bauteilen**

Hierzu werden die Baustoffe nach ihren besonderen Eigenschaften eingeteilt, mit denen in den Bauteilen bestimmte Funktionen erfüllt werden können:

- Raumabschluss,
- Tragfähigkeit,
- Isolierung
  - gegen Kälte und Hitze = Wärmedämmung,
  - gegen Schall = Schalldämmung,
  - gegen Feuchtigkeit oder chemischen Angriff = Abdichtung (Sperrung);
- Verkleidung zur Gestaltung, Dekoration
- u. a.

Eine Übersicht über die verschiedenen Baustoffe findet sich in Tabelle 1.2. Dazu ein Beispiel für eine Außenwand:

Bei einer beiderseits mit Kalkmörtel verputzten Außenwand aus Hochlochziegeln übernehmen überwiegend die Hochlochziegel einschließlich des Mauermörtels die Funktionen des Raumabschlusses, der Tragfähigkeit sowie der Wärme- und Schalldämmung, während der Kalkmörtelputz außen die Funktionen der Schlagregenabwehr übernimmt.

Wenn verschiedene Aufgaben auf unterschiedliche Baustoffe verteilt werden, müssen deren besondere Eigenschaften aufeinander abgestimmt werden.

**1.3 Vorschriften**

Nach den Landesbauordnungen werden von den obersten Baurechtsbehörden durch Erlasse bautechnische Bestimmungen eingeführt, die Gefahren für die öffentliche Sicherheit abwehren. Sie gelten als allgemein anerkannte Regeln der Technik. Ein großer Teil dieser Bestimmungen beschäftigt sich mit den Baustoffen, ihren Eigenschaften und deren Prüfung sowie ihrer Anwendung.

Für die allgemein angewandten und bewährten Baustoffe bestehen nationale und internationale Normen, z. B. die deutschen **DIN-Normen** und – wegen der Vereinheitlichung der Normen in der EG – zunehmend die europäischen Normen EN, die schon zahlreiche DIN-Normen abgelöst haben. Die Normen werden zwischen den Herstellern, Verbrauchern, Baurechtsbehörden und Materialprüfern vereinbart und geben den jeweiligen gesicherten Kenntnisstand über einen Baustoff wieder. Bei Bedarf werden die Normen entsprechend dem Fortschritt der Technologie und der Erfahrungen geändert. Bei der Einführung europäischer Normen kann jedes Mitglied der Europäischen Union seine nationalen Anwendungsregeln definieren. In Deutschland wird z.B. in DIN V 20 000 ff. angegeben, unter welchen Bedingungen CE-gekennzeichnete Bauprodukte in Bauwerken in Deutschland angewendet werden können. Zusätzlich gibt es noch Restnormen, die zusätzliche Eigenschaften, Festlegungen sowie Klassifizierungen von Eigenschaften enthält. Die Restnormen ergänzen die europäische Norm so, dass die bisherige uneingeschränkte Nutzung der Bauprodukte möglich ist.

DIN ist die Abkürzung von «Deutsches Institut für Normung e. V.».

Für die Anwendung vieler Baustoffe sind auch die Normen in Teil C der VOB – Verdingungsordnung für Bauleistungen – zu beachten.

a) Für wichtige und allgemein angewandte neue Baustoffe und Bauarten, die sich noch

Tabelle 1.2 Einteilung der Baustoffe nach ihren Funktionen in den Bauteilen

Baustoffe für	Raumabschluss	Tragfähigkeit	Wärmedämmung	Schalldämmung	Abdichtung	Verkleidung	weitere besondere Funktionen und Anwendungen
Naturstein	+	+	–	(+)	(+)	+	Fußböden, Pflaster
Holz	+	+	+	(+)	–	+	Fußböden
Holzwerkstoffe	+	(+)	+	(+)	–	+	–
Ziegelwaren	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	Dachabdeckung
Steingut	–	–	–	–	+	+	–
Steinzeug	–	–	–	–	+	+	Fußböden, Rohre
Glas	+	(+)	(+)	(+)	+	+	Lichtdurchlässigkeit
Normalbeton	+	+	–	+	+	+	Verschleißwiderstand
Leichtbeton	+	+	+	(+)	(+)	(+)	–
Kalksandsteine	+	+	(+)	+	(+)	(+)	–
Fertige Baustoffe aus Normalbeton	+	+	–	+	+	+	Verschleißwiderstand, Dachabdeckung, Rohre
Leichtbeton	+	(+)	+	(+)	–	–	–
Faserbeton	+	(+)	–	–	+	+	Dachabdeckung, Rohre
Gipsbaustoffe	+	–	(+)	(+)	–	+	Feuerwiderstand
Zementmörtel	–	+	–	(+)	+	(+)	Fußböden
Kalkmörtel	–	(+)	–	–	(+)	–	–
Gipsmörtel	–	–	–	–	–	+	Feuerwiderstand
Anhydritmörtel	–	(+)	–	(+)	–	+	Fußböden
Stahl, Eisen	–	+	–	–	–	(+)	Rohre
Aluminium	–	+	–	–	+	+	} Dachabdeckung, } Rohre
weitere NE-Metalle	–	–	–	–	+	+	
bituminöse Baustoffe	–	(+)	(+)	–	+	–	Bodenbeläge, Dachabdeckung
Kunststoffe	+	(+)	(+)	(+)	+	+	Fußböden, Dachabdeckung, Rohre, evtl. Lichtdurchlässigkeit

+ geeignet, (+) unter bestimmten Voraussetzungen geeignet, – ungeeignet.

in einer bestimmten Entwicklung befinden, werden **Technische Vorschriften (TV)**, **Richtlinien** oder **Merkblätter** aufgestellt, um zunächst über längere Zeit hinweg Erfahrungen sammeln zu können.

- b) Für neue, noch nicht allgemein gebräuchliche und bewährte Baustoffe, Bauteile und Bauarten muss deren Brauchbarkeit für den jeweiligen Verwendungszweck durch eine

**allgemeine bauaufsichtliche Zulassung** nachgewiesen werden. Bei bestimmten Baustoffen, z. B. bei Holzschutzmitteln oder Betonzusatzmitteln, muss dieser Nachweis durch ein **Prüfzeichen** erbracht werden.

Zulassung und Prüfzeichen werden vom **Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt)** in Berlin erteilt. Bei der Anwendung ist der Zulassungs- bzw. Prüfbescheid genau zu beachten.

## 1.4 Eigenschaften der Baustoffe und ihre Prüfungen

Die Normanforderungen an die Baustoffe beziehen sich auf die für ihre Anwendung in der Praxis wichtigen Eigenschaften. Um eine eindeutige Ausschreibung, Bestellung und Lieferung der Baustoffe zu erleichtern, sind für die meisten Baustoffe und ihre wichtigsten Eigenschaften Kurzzeichen festgelegt worden.

- a) Zur Beurteilung der Normgerechtigkeit sind bestimmte Prüfungen notwendig, die in allen Einzelheiten festgelegt sind. Geprüft wird eine bestimmte Anzahl von Proben, die als repräsentativer Durchschnitt einer Lieferung zu entnehmen sind. Daraus kann man die Streuung der Baustoffeigenschaften erkennen und sich ein Bild über die Gleichmäßigkeit der Baustoffproduktion machen. Bei **Bestätigungs-** oder **Kontrollprüfungen** werden die Proben nachträglich aus den erhärteten Bauteilen herausgearbeitet. Bei fertiggemischten Baustoffen ist zumeist durch vorausgehende **Eignungsprüfungen** festzustellen, ob mit der gewählten Mischung sicher die geforderten Eigenschaften erreicht werden.
- b) Spezielle Anforderungen und Prüfungen gibt es auch für die **ungeformten Baustoffe**: z. B. an die spezifische Oberfläche und an den Beginn und das Ende des Erstarrens von mineralischen Bindemitteln, an die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung usw. Diese Eigenschaften sind nicht nur maßgebend für eine gute Verarbeitbarkeit der Baustoffe im frischen Zustand, sondern auch für ihre Qualität im späteren erhärteten Zustand.
- c) Im Folgenden werden, unter Berücksichtigung der physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten, die Begriffe und die Bedeutung der verschiedenen Eigenschaften der **geformten, festen Baustoffe** erläutert und die wichtigsten Prüfverfahren kurz beschrieben. Die Eigenschaften lassen sich auch unterscheiden in **physikalische Eigenschaften** (Dichte, Verhalten gegenüber Wasser, Frostbeständigkeit, Schwinden, Wärme-dehnkoeffizient, Wärmeleitfähigkeit, akusti-

sches Verhalten), **mechanische Eigenschaften**, wobei Kräfte auf die Baustoffe einwirken (Festigkeiten, Härte, Verschleißwiderstand, elastische und plastische Formänderungen), sowie **chemische Eigenschaften** (Beständigkeit gegen chemische Einwirkungen, Alterung, Hitze und Feuer).

### 1.4.1 Gestalt und Maße

Die Gestalt der geformten Baustoffe und ihre Maße dürfen im Vergleich zu den Festlegungen nur geringe **Toleranzen** aufweisen, siehe DIN 18 202 und DIN EN 13 369. Erst dadurch wird ein optimales Zusammenwirken der Einzelteile gewährleistet und eine volle Funktionsfähigkeit der Gesamtkonstruktion erreicht.

Durch eine gute Maßhaltigkeit wird die Verarbeitung der Baustoffe erleichtert und bei der Montage von großen Bauelementen die Sicherheit erhöht. Für viele Bauteile wird eine bestimmte Ebenheit der Oberfläche verlangt.

Die Maße der Baustoffe passen in der Regel in die Maßordnung nach DIN 4172. Die Bau-richtmaße, aus denen sich die Einzel-, Rohbau- und Ausbaumaße ableiten, sind in Teilen von 1 m abgestuft ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$  und  $\frac{1}{16}$  m). Bei Bauarten mit Fugen ergeben sich die Nennmaße der Baustoffe aus den Bau-richtmaßen abzüglich der Fugen. Zur Einschränkung der Sortimentsauswahl sollten möglichst Baustoffe mit Vorzugsmaßen verwendet werden. Die Maße werden mit Schieblehren, bei Werten über rd. 300 mm mit Maßstäben durch mehrere Einzelmessungen festgestellt.

### 1.4.2 Masse, Dichte und Porosität

#### 1.4.2.1 Masse

Die Masse und daraus resultierend das Eigengewicht der Baustoffe sind für den Aufwand beim Transport und bei der Verarbeitung auf der Baustelle von wesentlicher Bedeutung. Sie ist auch maßgebend für das Eigengewicht der Konstruktionen und damit für die Schnittgrößen.

### 1.4.2.2 Dichte, Rohdichte, Schüttdichte

Die **Dichte**  $\rho$  ist das Verhältnis der Masse  $m$  eines Stoffes zu dessen Volumen  $V$ .

$$\rho = m/V \quad [\text{g/cm}^3, \text{kg/dm}^3 \text{ oder } \text{t/m}^3]$$

Die **Reindichte**  $\rho_0$  ist das Verhältnis der Masse  $m$  eines Stoffes zu dessen porenfreiem Volumen  $V_0$ .

$$\rho_0 = m_d/V_0 \quad [\text{g/cm}^3, \text{kg/dm}^3 \text{ oder } \text{t/m}^3]$$

Baustoffe mit Poren müssen zur Prüfung der Dichte zerkleinert und gemahlen werden. Das porenfreie Volumen wird durch Verdrängung in Wasser bestimmt. Bei Stoffen, die mit Wasser reagieren, werden andere Flüssigkeiten verwendet (z. B. bei mineralischen Bindemitteln Tetrachlorkohlenstoff).

Beispiele für Reindichte von porenfreien Baustoffen: Glas 2,5 g/cm<sup>3</sup>, Stahl 7,85 g/cm<sup>3</sup>.

Die **Rohdichte**  $\rho_R$  wird aus der Masse  $m_d$  und dem Volumen  $V_R$  ermittelt.

$$\rho_R = m_d/V_R$$

$m_d$  ist die Masse des Stoffes nach Trocknen bei 105 °C (bei gipshaltigen Baustoffen bei 40 °C).  $V_R$  ist das Volumen einschließlich Poren und Zwischenräumen. Bei regelmäßig geformten Proben wird das Volumen  $V_R$  geometrisch ermittelt, bei unregelmäßig geformten Proben durch Wasserverdrängung. Dafür werden die Proben vor der Prüfung in Wasser gelagert und anschließend trocken abgewischt. Die Gewichts Differenz der an Luft bzw. in Wasser gelagerten Proben entspricht der Wasserverdrängung und damit dem Rohvolumen  $V_R$ . Die Rohdichte wird bei leichten Baustoffen vor allem als Kennwert für die Wärmeleitfähigkeit, bei schweren Baustoffen für die Festigkeit und Wasserundurchlässigkeit oder für den Strahlenschutz verwendet (Tabelle 1.3).

Die **Schüttdichte**  $\rho_s$  wird aus der Masse der lose geschütteten Baustoffe und deren Schüttvolumen  $V_s$  ermittelt. Dabei wird ein Messgefäß mit bekanntem Volumen (= Schüttvolu-

Tabelle 1.3 Beispiele für die Rohdichte

Beispiele für Rohdichte:	
Natursteine	meist 2,0...3,0 g/cm <sup>3</sup>
Holz	meist 0,4...0,8 g/cm <sup>3</sup>
Normalbeton	2,0...2,8 kg/dm <sup>3</sup>
Schaumkunststoffe	0,015...0,1 kg/dm <sup>3</sup>

Tabelle 1.4 Beispiele für die Schüttdichte

Beispiele für Schüttdichte:	[kg/dm <sup>3</sup> ]
Baukalke	0,4...1,0
Zement	1,0...1,2
Sand <sup>1)</sup>	1,0...1,6
Kies	1,5...1,6
Kiessand <sup>1)</sup>	1,5...1,9

<sup>1)</sup> Je nach Feuchtigkeit und Sieblinie.

men  $V_s$ ) in der Regel lose, in bestimmten Fällen auch mit Verdichtung gefüllt, oben eben abgestrichen und die Masse  $m$  des eingefüllten Baustoffes ermittelt (Tabelle 1.4).

Bei gebrannten Mauersteinen (mit oder ohne Lochung) werden die **Steinrohichte** und **Scherbenrohichte** bestimmt. Die **Steinrohichte** ist das Verhältnis des trockenen Gewichtes zum Volumen einschließlich der Hohlräume des Steins, während die **Scherbenrohichte** das Gewicht und Volumen eines Scherbens (Steinmaterial ohne Hohlräume) berücksichtigt. Die Ermittlung des Volumens erfolgt geometrisch.

### 1.4.2.3 Porosität

Die **Porosität** ist der gesamte Anteil von Poren in einem Baustoff, bezogen auf sein Volumen. Die Eigenschaften der Baustoffe hängen sowohl von der Porosität ab als auch von der Größe und Art der Poren. Die Poren werden eingeteilt in **offene Poren** – das können enge kapillare Poren oder weite Gefüge- und Haufwerksporen sein – sowie **geschlossene Poren**, z. B. Zellporen (Bild 1.1).

Aus der Dichte  $\rho$ , der Reindichte  $\rho_0$ , der Rohdichte  $\rho_R$  und der Schüttdichte  $\rho_s$  lassen sich der Dichtigkeitsgrad  $d$  bzw. die Porosität  $p$  berechnen.

Bei geformten Baustoffen oder bei Gesteinsproben:

$$d = \frac{V}{V_R} = \frac{m \cdot \rho_R}{\rho \cdot m} = \frac{\rho_R}{\rho}$$

$$p = \frac{V_R - V}{V_R} \cdot 100 = \left(1 - \frac{\rho_R}{\rho}\right) \cdot 100 \text{ [Vol.-%]}$$

$$= (1 - d) \cdot 100 \text{ [Vol.-%]}$$

$p$  entspricht der sogenannten «wahren Porosität». Im Gegensatz dazu steht die «scheinbare Porosität», die durch Wasserlagerung unter atmosphärischem Druck festgestellt wird (siehe Abschnitt 1.4.3.2). Bei Gesteinskörnern spricht man auch von Kornporosität.

Bei losen Baustoffen:

$$d = \frac{V_R}{V_S} = \frac{m \cdot \rho_S}{\rho_R \cdot m} = \frac{\rho_S}{\rho_R}$$

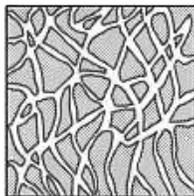
$$p = \frac{V_S - V_R}{V_S} \cdot 100$$

$$= \left(1 - \frac{\rho_S}{\rho_R}\right) \cdot 100 \text{ [Vol.-%]}$$

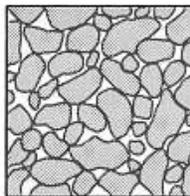
Die Haufwerkporosität  $p_H$  entspricht dem Zwischenraum zwischen den Körnern eines Haufwerks. Bei Baustoffen wie Beton und Asphalt werden die Haufwerksporen mit Bindemitteln und feinsten Füllstoffen ausgefüllt. Wenn die Gesteinskörner eine Eigenporosität besitzen, errechnet sich die Gesamtporosität zu

$$= \frac{V_S}{V_0} \cdot 100 = \left(1 - \frac{V_R}{V_0}\right) \cdot 100 \text{ [Vol.-%]}$$

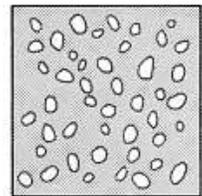
Bild 1.1  
Arten der Porosität



Kapillarporen



Haufwerksporen



Zellporen

### 1.4.3 Verhalten der Baustoffe gegenüber Wasser

Da das Wasser in vielfältiger Weise auf die Baustoffe je nach deren Verwendung einwirkt, werden die wichtigsten Beziehungen zwischen den Baustoffen und dem Wasser besonders herausgestellt.

#### 1.4.3.1 Feuchtegehalt

Porige Baustoffe besitzen auch ohne direkte Einwirkung von flüssigem Wasser einen mehr oder weniger großen Feuchtegehalt. Viele Baustoffeigenschaften werden durch den Feuchtegehalt beeinflusst.

Bei Änderung der Temperatur und der Luftfeuchte passt sich der Feuchtegehalt des Baustoffes so lange an, bis ein bestimmter Wert erreicht wird. Dieser Feuchtegehalt wird **Ausgleichsfeuchte** oder **Gleichgewichtsfeuchte** genannt. Die Baustoffe verhalten sich dabei sehr unterschiedlich: So haben Ziegel stets geringe Feuchtegehalte, Holz dagegen verhältnismäßig hohe und je nach Klima der Umgebung sehr schwankende Werte.

Nach DIN 4108-4 beträgt der praktische Feuchtegehalt, der in 90 % der untersuchten Fälle nicht überschritten wurde, z. B. bei Ziegeln 1 M.-%, bei Beton mit geschlossenem Gefüge 2 M.-% und bei Kalksandsteinen 3 M.-%, bei Holz und Holzwerkstoffen 15 M.-%.

Der **Feuchtegehalt  $h$**  wird meist durch Wiegen von Proben unmittelbar bei der Entnahme  $m_h$  und  $m_d$  nach anschließendem Trocknen bei 105 °C (bei gipshaltigen Stoffen bei 40 °C, bei Schaumkunststoffen bei 70 °C) ermittelt. Für  $m_d$  wird die Probe so lange weitere 24 Stunden

bei 105 °C getrocknet, bis die Masse des Probekörpers nicht mehr als 1 ‰ innerhalb von 24 Stunden abnimmt und somit die Gewichtskonstanz erreicht wird. Die Massenverminderung durch Verdampfen des freien Wassers  $m_W$  wird in der Regel auf die trockene Probenmasse bezogen und in M.-% angegeben oder nach Umrechnung auf das Probenvolumen bezogen, d. h., der Feuchtegehalt wird dann in Vol.-% umgerechnet.

$$h = \frac{m_h - m_d}{m_d} \cdot 100 = \frac{m_W}{m_d} \cdot 100 \text{ [M.-%]}$$

$$h = \frac{m_W}{V_d} \cdot 100 \text{ [Vol.-%]}$$

#### 1.4.3.2 Wasseraufsaugen und Wasseraufnahme

Das Wasseraufsaugen entspricht der kapillaren Wasseraufnahme der Baustoffe. Es ist von Bedeutung, wenn die Baustoffe jeweils nur an einer Fläche mit Wasser in Berührung kommen, z. B. mit Schlagregen oder Bodenfeuchtigkeit.

Das Wasseraufsaugen ist besonders groß bei Baustoffen mit hoher kapillarer Porosität; durch kugelige Poren, Haufwerksporen oder Hohlräume wird es behindert, weil die kapillare Saugfähigkeit enger Röhren durch größere Hohlräume unterbrochen wird.

Bei Vergleichsprüfungen werden die Proben meist rd. ca. 1 cm tief in Wasser gestellt, und es wird zu verschiedenen Zeiten die mittlere Saughöhe in cm über dem Wasserspiegel oder die aufgesogene Wassermenge in g je cm<sup>2</sup> eingetauchter Baustofffläche festgestellt. Der Wasseraufnahmekoeffizient  $w$  wird in kg/(m<sup>2</sup> · h<sup>1/2</sup>) angegeben.

Wenn die Baustoffe bei der Anwendung allseitig mit Wasser in Berührung kommen oder auch auf andere Weise völlig durchfeuchtet werden können, wird zur Beurteilung, z. B. der Frostbeständigkeit und auch der Aufnahmefähigkeit von aggressiven Lösungen, die **Wasseraufnahme bei atmosphärischem Druck** nach DIN EN 13 755 ermittelt.

Hierbei werden künstlich getrocknete Proben mit der Masse  $m_d$  zunächst stufenweise unter Wasser gebracht, nach dem Abwischen des Oberflächenwassers gewogen und dann wiederholt ins Wasser getaucht, bis die Masse  $m_s$  konstant bleibt. Damit berechnet sich die Wasseraufnahme bei atmosphärischem Druck:

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100 \text{ [M.-%]}$$

Bei diesem Verfahren werden lediglich die größeren Poren und Kapillarporen gefüllt. Die daraus abgeleitete Porosität entspricht der «scheinbaren Porosität».

Sollen auch die kleinen Poren gefüllt werden, was der «echten Porosität» entspricht, wird die **Wasseraufnahme unter Druck von 150 bar** bestimmt.

Der **Sättigungswert S** ist das Verhältnis der Wasseraufnahme unter Druck von 150 bar, bezogen auf die Wasseraufnahme unter atmosphärischem Druck. Er ist ein Kennwert für den Gehalt an Mikroporen und für den zu erwartenden Frostwiderstand von porösen Stoffen. Je kleiner S ist, umso weniger frostempfindlich ist der Baustoff.

$S < 0,85$  Frostwiderstand wahrscheinlich.

$S > 0,90$  kein Frostwiderstand zu erwarten.

$0,85 < S < 0,90$  Frostwiderstand zweifelhaft, und es sind gezielte Prüfungen des Frostwiderstandes notwendig.

#### 1.4.3.3 Wasserundurchlässigkeit

Wasserdichte Baustoffe werden dann verlangt, wenn unter geringerem oder auch größerem Druck kein Wasser durch die Bauteile hindurch gehen soll, z. B. bei Dacheindeckungen, Röhren und Wasserbehältern, oder wenn möglichst wenig Wasser in die Baustoffe selbst eindringen soll. Das Verhalten der Baustoffe hängt nicht nur von ihrem Dichtigkeitsgrad und ihrer Dicke ab, sondern auch von der Höhe und Dauer des aufgebrachtten Wasserdruckes sowie von der relativen Luftfeuchte der Umgebung. Für unterschiedliche Baustoffe

gelten unterschiedliche Prüfverfahren.

#### 1.4.3.4 Maßnahmen gegen Durchfeuchtung

Auf Bauteile, wie Fundamente, Untergeschossbauteile, Außenwände, Dächer oder Behälter, wirken Wasser und ggf. aggressive Flüssigkeiten in unterschiedlicher Weise ein. Es werden verschiedene Abdichtungsarten unterschieden:

- Abdichtungen gegen Bodenfeuchtigkeit,
- Abdichtungen gegen nicht drückendes Wasser,
- Abdichtungen gegen von außen oder innen drückendes Wasser.

Die dazu geeigneten Baustoffe (siehe auch Tabelle 1.2) und die notwendigen Abdichtungssysteme sind in DIN 18 195 beschrieben.

Nach DIN V 4108-3 müssen Außenbauteile an der Außenoberfläche einen ausreichenden Schutz gegenüber einer geringen, mittleren oder starken Schlagregenbeanspruchung (Beanspruchungsgruppen I, II oder III) besitzen, wobei von keiner Schicht die Verdunstung von Wasser aus dem Bauteilinneren beeinträchtigt werden darf. Z. B. sollen Außenputze und Beschichtungen auf Außenwänden folgende äquivalente Luftschichtdicken  $s_d$  und Wasseraufnahmekoeffizienten  $w$  aufweisen:

Bei allen Beanspruchungsgruppen

$$s_d \leq 2 \text{ m}$$

Bei II als wasserhemmend

$$w \leq 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2})$$

Bei III als wasserabweisend

$$w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}) \text{ und} \\ w \cdot s_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{1/2})$$

#### 1.4.4 Festigkeiten

In der Mechanik bezeichnet man als **Spannung**  $\sigma$  das Verhältnis einer Kraft  $F$  zu der Fläche  $A$ , auf die sie einwirkt:

$$\sigma = F/A \text{ in } [\text{N}/\text{mm}^2 \text{ oder } \text{MN}/\text{m}^2] \\ \text{(gleicher Zahlenwert)}$$

Die Beurteilung der Standsicherheit der Bauteile erfolgt unter Berücksichtigung der Spannungen, unter denen die Baustoffe versagen oder sich unzulässig verformen.

Bei Festigkeitsprüfungen wird in Prüfmaschinen an genormten Probekörpern bei stetigem, kurzzeitigem Lastanstieg die Höchst- bzw. Bruchlast  $\max. F$  ermittelt. Diese wird auf die Querschnittsfläche  $A$  bezogen; man erhält damit die Höchst- bzw. Bruchspannung, die als **Festigkeit**  $f$  bezeichnet wird:

$$\sigma_{\text{Bruch } i} = f_i \\ = \frac{\max F}{A} [\text{N}/\text{mm}^2 \text{ oder } \text{MN}/\text{m}^2]$$

Nach dem Bruchverhalten werden unterschieden:

- zähe** Baustoffe, die sich vor dem Bruch bleibend verformen, und
- spröde** Baustoffe, bei denen ein plötzlicher Bruch auftritt, ohne dass bleibende Verformungen diesen angekündigt hätten. Zähe Baustoffe verhalten sich vor allem bei Schlagbeanspruchung wesentlich günstiger als spröde Baustoffe.

Das Ergebnis der Festigkeitsprüfung ändert sich je nach Gestalt und Größe der Proben. So ergeben z. B. Proben aus dem gleichen Baustoff mit kleinerem Querschnitt i. Allg. eine höhere Festigkeit, mit größerem Querschnitt eine geringere Festigkeit.

Die Festigkeit hängt auch von der Geschwindigkeit und Dauer der Belastung ab, weil u. a. zur Bildung von Rissen im Baustoff, die den Bruch einleiten, eine gewisse Zeit erforderlich ist. So ergibt sich bei großer Belastungsgeschwindigkeit eine höhere Belastbarkeit. Entsprechend fällt die **Dauerstandfestigkeit**, d. i.

die maximale Spannung, die ein Baustoff unter Dauerbelastung aufnehmen kann, kleiner aus. Für Bauteile, die schwingend oder dynamisch beansprucht werden, wird für die verwendeten Baustoffe die **Dauerschwingfestigkeit** (Ermüdungsfestigkeit) ermittelt. Dabei wird das Material unter Lastwechseln schwellend (Zug oder Druck) bzw. wechselnd (auf Zug und Druck) geprüft. Die erhaltenen Werte sind in der Regel geringer als die bei den Normprüfungen festgestellte Kurzzeitfestigkeit.

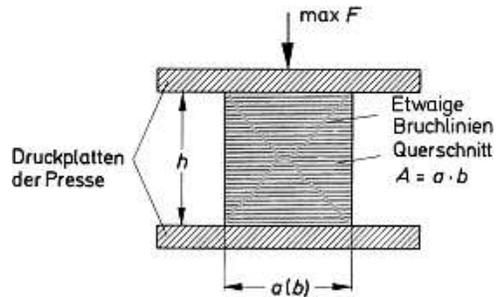


Bild 1.2 Druckfestigkeit

Die **Festigkeitsklassen** von Baustoffen werden nach einer Nenn-Festigkeit bei der Kurzzeitprüfung bezeichnet, die bei statistischer Auswertung mindestens erreicht werden muss. Der Mittelwert einer Probenserie muss außerdem mindestens einen bestimmten Wert erreichen, der höher ist als der kleinste Wert der Einzelproben.

Im Vergleich zu den Festigkeiten der Baustoffe bei den Normprüfungen sind die für die Bemessung der Bauteile verwendeten **zulässigen Spannungen** zu  $\sigma$  wesentlich geringer.

Der Unterschied ergibt sich daraus, dass vor allem wegen der i. d. R. größeren Abmessungen der Bauteile im Vergleich zu den Prüfkörpern und wegen der Dauerbeanspruchung die rechnerische Festigkeit geringer angesetzt wird als die Normfestigkeit. Für die zul. Spannung werden Sicherheitsfaktoren für den Baustoff, für die Konstruktionsart und für den Lastfall festgelegt.

#### 1.4.4.1 Druckfestigkeit

Die **Druckfestigkeit** wird vorzugsweise an Baustoffen geprüft, die in der späteren Konstruktion auf Druck beansprucht sind. Bezieht man die Höchstlast  $\max F$  auf die Druckfläche  $A$  (siehe Bild 1.2), erhält man die **Druckfestigkeit**  $f_c$ .

$$f_c = \frac{\max F}{A} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Die Druckflächen müssen planeben und parallel sein und die Probe muss zentrisch belastet werden. Die Querdehnung wird im Bereich der

Tabelle 1.5

Beispiele für die Druckfestigkeit  $f_c$  [N/mm<sup>2</sup>]

Beispiel für die Druckfestigkeit $f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
Natursteine	30 bis 400
Holz in Faserrichtung	30 bis 80
Beton (im Alter von 28 Tagen, Mittelwert)	mind. 8 bis 115

Druckflächen durch Reibung behindert. Beim Bruch verbleiben bei einem Würfel nach Bild 1.2 im Idealfall zwei sich gegenüberliegende Pyramiden. Die Druckfestigkeit wird beeinflusst von Gestalt und Größe, Alter und Feuchtegehalt der Proben und der Belastungsgeschwindigkeit. Bei Platten wird wegen der größeren Behinderung der Querdehnung die Druckfestigkeit größer, bei schlanken Prismen und Zylindern wegen der geringeren Behinderung kleiner.

#### 1.4.4.2 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit ist besonders bei den metallischen und einigen organischen Baustoffen von Bedeutung. Bezieht man die Höchstlast  $\max F$  auf den Querschnitt  $A_0$  vor dem Zugversuch, erhält man die **Zugfestigkeit**  $f_t$ :

$$f_t = \frac{\max F}{A_0} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Tabelle 1.6

Beispiele für die Zugfestigkeit  $f_t$  [N/mm<sup>2</sup>]

Beispiele für die Zugfestigkeit $f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
Stahl	330...2000
Holz in Faserrichtung	70...140

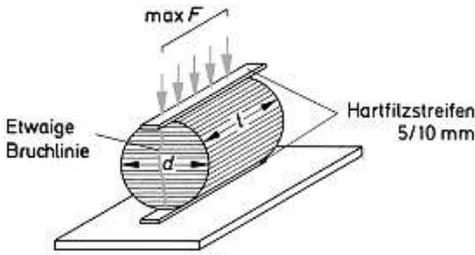


Bild 1.3 Spaltzugfestigkeit

1.3 an Zylindern und Prismen von der Länge  $l$  und dem Durchmesser bzw. der Höhe  $d$  geprüft.

$$f_{sz} = \frac{2 \cdot \max F}{\pi \cdot d \cdot l}$$

Die Spaltzugfestigkeit von Beton liegt etwa zwischen 1 bis 5 N/mm<sup>2</sup>.

### 1.4.4.3 Biegefestigkeit

Bei auf Biegung beanspruchten Baustoffen wird die **Biegefestigkeit**  $\beta_B$  festgestellt; bei spröden Baustoffen, die beim Erreichen der Zugfestigkeit in der Zugzone brechen, wird sie als **Biegezugfestigkeit**  $\beta_{BZ}$  bezeichnet.

Wenn Stahlbetonteile mit starker Zugbewehrung in der Druckzone des Betons brechen, spricht man auch von Biegedruckfestigkeit  $\beta_{BD}$ . Bei homogenen Baustoffen werden prismatische Stäbe oder Balken von der Breite  $b$  und

Höhe  $h$  bei vorgeschriebener Stützweite  $l_0$  nach Bild 1.4 in der Mitte bis zum Bruch belastet. Bei nicht homogenen Baustoffen, wie Holz oder Beton, erfolgt die Prüfung in der Regel mit 2 symmetrischen Einzellasten im Abstand  $l_0/3$ . Die Biegefestigkeit berechnet man aus

maximales  
Moment

$$\beta_B = \frac{\text{Widerstandsmoment des Bruchquerschnitts}}$$

für die Lastfälle nach Bild 1.4 bei einer mittigen Last zu

!

$$\beta_B = \frac{3 \cdot \max F \cdot l_0}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

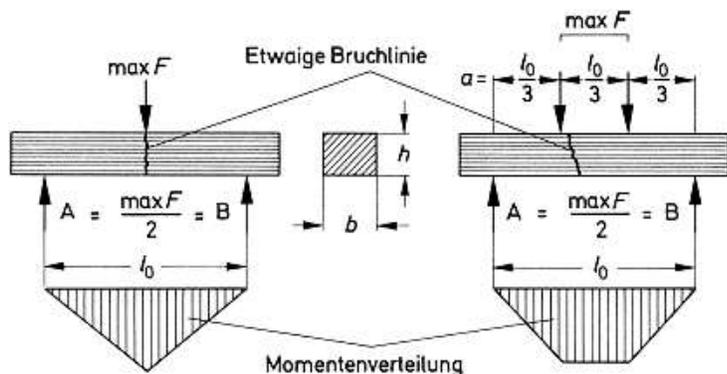
bei 2 symmetrischen Lasten zu

!

$$\beta_B = \frac{3 \cdot \max F \cdot a}{b \cdot h^2}$$

Mit 2 Lasten fällt die ermittelte Festigkeit geringer aus, weil der Bruch zwischen den beiden Lasten dort erfolgt, wo die Festigkeit am kleinsten ist. Die Stützweite sollte mindestens das 4-fache der Probenhöhe  $h$  sein. Die Lastangriffs- und Auflagerflächen müssen eben sein. Betonprüfkörper werden nach Wasserlagerung geprüft; beim Austrocknen würde durch Schwindzugspannungen in den Randzonen die Biegezugfestigkeit herabgesetzt werden.

Bild 1.4 Biegeprüfung



#### 1.4.4.4 Weitere Festigkeitsarten und Prüfungen

In verschiedenen Konstruktionen, z. B. in Verbindungen durch Schrauben, Dübel und Niete sowie in Kleb- und Schweißverbindungen, werden die Baustoffe auch auf Abscheren beansprucht. An besonderen Proben, bei denen die Last nach Bild 1.5 parallel zu den Scherflächen wirkt, wird die **Scherfestigkeit**  $\beta_A$  geprüft.

Sie errechnet sich zu

$$\beta_A = \frac{\max F}{A}$$

Wirkt bei Klebverbindungen oder bei auf einen Untergrund aufgetragenen Putzen und Anstrichen die Last rechtwinklig zur Haftfläche, so wird die höchste erreichbare Spannung als **Hafffestigkeit**  $\beta_H$  bezeichnet.

Wenn der Bruch in der Verbindungsschicht selbst erfolgt, spricht man von Kohäsionsbruch, wenn sich die Schicht vom Untergrund ablöst, von Adhäsionsbruch.

Mit Proben, die durch Verdrehen bis zum Bruch beansprucht werden, erhält man die **Torsionsfestigkeit**  $\beta_T$ .

Eine besonders zutreffende Aussage über die Zähigkeit von Baustoffen erhält man durch die **Schlagfestigkeit**, bei der besondere Proben (z. B. Splitt und Schotter) in besonderen Schlaggeräten beansprucht werden.

Bei unregelmäßig geformten Baustoffen wie Dachsteinen und Deckensteinen wird bei einer vorgeschriebenen Biegeprüfung statt der Festigkeit lediglich die Bruchlast oder bei Rohren bei der Belastung im Scheitel die maximale Scheiteldrucklast ermittelt.

Bei den bisher beschriebenen zerstörenden Prüfungen werden besonders hergestellte oder aus Bauteilen entnommene Proben bis zum Bruch belastet. In zunehmendem Umfang werden heute, teilweise in den Bauwerken selbst, auch **zerstörungsfreie Festigkeitsprüfungen** angewandt. Man schließt dabei meist von einem bestimmten Verhalten der Oberfläche des Baustoffes oder von seiner Dichte auf seine Festigkeit. Bei Beton wird z. B. der Eindruck-

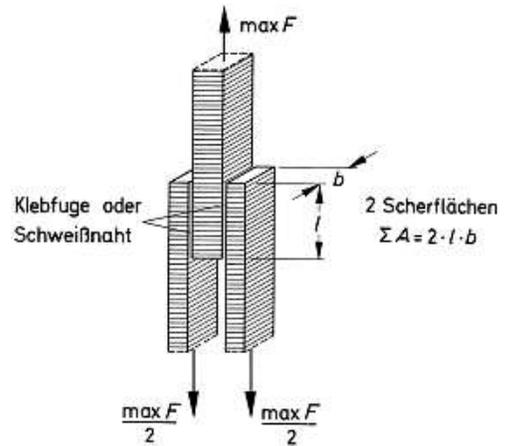


Bild 1.5 Scherprüfung

durchmesser oder der Rückprallweg eines mit Federkraft aufgeschleuderten Schlagbolzens gemessen, bei Stahl der Durchmesser oder die Tiefe des Eindrucks von Stahlkugeln oder Diamantkegeln, die unter bestimmten Lasten auf die Oberfläche gedrückt wurden.

Im Gegensatz zu den zerstörenden Prüfungen erhält man bei den zerstörungsfreien Prüfungen nur Näherungswerte für die Festigkeiten. An der geprüften Oberfläche kann der Baustoff nämlich anders beschaffen sein als unterhalb der Oberfläche.

#### 1.4.5 Härte und Verschleißwiderstand

Härte und Verschleißwiderstand zeigen das Verhalten der Oberfläche der Baustoffe gegenüber einer ungünstigen Einwirkung von äußeren Lasten an. «Hart» ist also nicht identisch mit «fest».

Ein Verschleiß der Oberfläche durch Wasser und mitbewegte feste Stoffe wird auch als Erosion bezeichnet. Von Oberflächen, die begangen oder befahren werden, werden auch Rutschsicherheit und Griffigkeit verlangt.

#### Kerbschlagbiegeversuch (Bild 1.6)

Eine genormte Probe bestimmter Breite und Länge wird mit einer Kerbe versehen, in ein

Probenanordnung

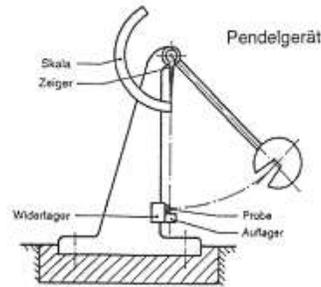
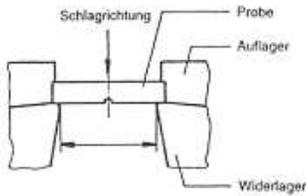


Bild 1.6 Kerbschlagbiegeversuch

Pendelgerät eingesetzt und mit einem Schlagpendel verformt oder durchbrochen. Die verbrauchte Schlagarbeit wird gemessen. Diese Prüfung wird vorwiegend an Stahl durchgeführt und dient zur Ermittlung des Bruchverhaltens u. a. bei unterschiedlichen Temperaturen.

Die **Härtemessung** ist eine zerstörungsfreie Prüfung am Bauteil oder an Proben. Gemessen wird der Widerstand, den der Werkstoff dem Eindringen einer Spitze oder einer Kugel entgegensetzt. Bei Metallen werden unterschieden:

- ❑ **Brinell-Härte.** Der **HB**-Wert wird aus der Eindruckkraft und den Durchmessern der Eindruckkugel und des Abdrucks auf der Werkstoffoberfläche abgeleitet (Bild 1.7).
- ❑ Bei der **Vickers-Härte** wird der **HV**-Wert mit den Diagonalen des quadratischen Eindrucks einer Diamant-«Pyramide» ermittelt und bei der
- ❑ **Rockwell-Härte HR** erfolgt die Messung der Eindringtiefe eines Diamantkegels (HRC-Wert) oder eines Stahlkegels (HRS-Wert).

#### 1.4.5.1 Härte

Bei Natursteinen wird als Maß für die Härte und die mineralogische Zusammensetzung, bei feinkeramischen Fliesen zur Vermeidung von Kratzern der Härtegrad nach der Mohs'schen Härteskala geprüft. Durch Ritzen des Baustoffes mit 10 verschiedenen harten Mineralien in der Reihenfolge Talk, Gips, Kalk-

spat, Flussspat, Apatit, Kalifeldspat, Quarz, Topas, Korund und Diamant wird festgestellt, welcher Härtegrad 1...10 vorliegt. Z. B. besitzt ein Baustoff den Härtegrad 7, wenn seine Oberfläche durch Topas (8) geritzt und durch Quarz (7) nicht geritzt wird.

#### 1.4.5.2 Eindruckwiderstand

Eine andere Art der Härte ist der Eindruckwiderstand. Er ist vor allem bei Baustoffen von Bedeutung, die im Gebrauch punktförmigen Lasten ausgesetzt sein können. Es werden dabei Eindrücke von Stahlkugeln oder Stempeln bestimmter Durchmesser unter bestimmten Lasten  $F$  erzeugt.

Bei Fußbodenbelägen und Putzen werden Prüfungen nach Bild 1.7 mit Kugeldurchmesser  $D = 10$  mm und unter  $F = 500$  und  $100$  N durchgeführt. Aus der mit einer Messuhr gemessenen Eindringtiefe  $t$  errechnet man die **Härte**

$$H = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot t} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

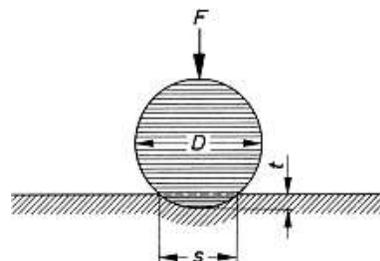


Bild 1.7 Härteprüfung durch Kugeleindruck

Tabelle 1.7 Beispiele für den Schleifverschleiß

Baustoff	Abrieb [mm]	(entsprechender Volumenverlust) [cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ]
Hartgesteine	1,0...1,7	(5...8,5)
Dichte Kalksteine	3,0...8,0	(15...40)
Gehwegplatten aus Beton	≤ 3,0	(≤ 15)
Hartstoffbeläge	≤ 0,4...1,4	(≤ 2...7)

Dabei werden sowohl die «gesamte» Härte aus der unter der Last gemessenen gesamten Eindringtiefe bestimmt als auch die «bleibende» Härte aus der nach Wegnahme der Last noch verbleibenden plastischen Eindringtiefe.

Bei Gussasphalt im Straßenbau und im Hochbau wird die Eindringtiefe unter Stempelbelastung geprüft.

Bei weicheren Stoffen wird die «Shore-Härte» aus der Eindringtiefe eines Kegestumpfes unter Federkraft ermittelt.

#### 1.4.5.3 Verschleißwiderstand (Abnutzwiderstand)

Bei allen Baustoffen, die einer rollenden oder schleifenden Beanspruchung ausgesetzt werden, also bei Baustoffen für Fußböden, Treppen, Gehwegen und für Straßen, erfolgt die Prüfung des Verschleißwiderstandes meist nach DIN 52 108 mit der Böhme-Schleifmaschine: Eine trockene Probe mit  $7,1 \text{ cm} \cdot 7,1 \text{ cm} = 50 \text{ cm}^2$  Fläche wird unter  $0,06 \text{ N/mm}^2$  Druckspannung auf eine gusseiserne Scheibe aufgepresst. Nach  $16 \cdot 22 = 352$  Umdrehungen wird mit Messuhren der **Schleifverschleiß** in mm (teilweise auch als Abnutzung bezeichnet) festgestellt (Tabelle 1.7). Nach jeweils 22 Umdrehungen wird 20 g neuer Normschmirgel aufgebracht und die Probe um  $90^\circ$  gedreht. Bei homogenen Baustoffen mit gleichmäßiger Rohdichte kann er auch über den Massenverlust ermittelt werden. Nasse Proben ergeben wesentlich größere Werte.

Eine andere Verschleißbeanspruchung der Baustoffe erfolgt durch Sandstrahlen. Bei dieser Methode wird rechtwinklig auf die Baustoffoberfläche Quarzsand aufgestrahlt.

#### 1.4.6 Formänderungen

Durch Einwirken von Kräften und durch Änderung der Temperatur oder des Wassergehaltes verändern die Baustoffe ihre Maße und ihre Form, d. h., sie verkürzen, verlängern oder verwölben sich oder sie biegen sich durch. Zu große Formänderungen können dazu führen, dass die Bauteile ihre Gebrauchsfähigkeit verlieren oder dass Bauschäden entstehen. Andererseits wird in bestimmten Fällen eine möglichst große Formänderungsfähigkeit verlangt, z. B. bei den meisten Metallen zur Formgebung bei normalen Temperaturen (Kaltverformung), sowie bei Dichtungsbahnen und Fugendichtungsmassen.

Die Formänderungen erreichen meist nur geringe Werte. Zu ihrer Messung werden sehr empfindliche Messgeräte, wie Messuhren oder Dehnungsmessstreifen (DMS), benötigt. Letztere enthalten einen dünnen elektrischen Leiter und werden auf die Proben, bei Großversuchen auch an bestimmten Stellen der Bauteile, aufgeklebt. Die Dehnung des Baustoffes verursacht eine elektrische Widerstandsänderung im Leiter und kann an einem Messgerät abgelesen werden. Bei allen Messungen müssen andere verfälschende Einflüsse vermieden werden, z. B. bei der Messung der Längenänderung durch Kräfte die Längenänderungen durch Temperatur- oder

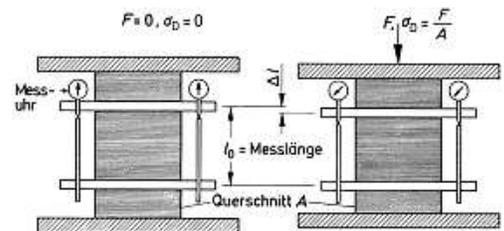


Bild 1.8 Elastizitätsversuch

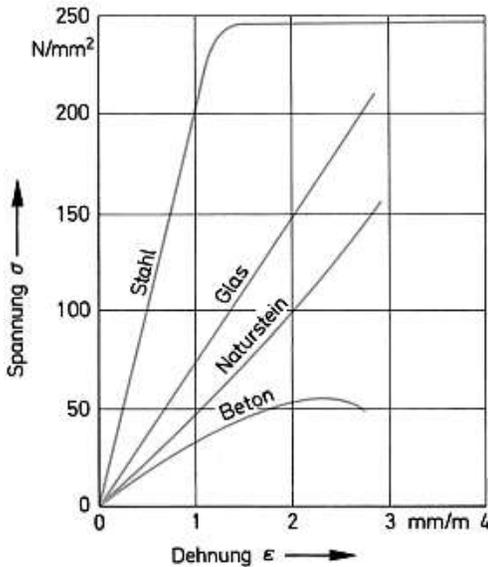


Bild 1.9 Beziehung zwischen Spannung und Dehnung

Feuchtigkeitsänderungen der Baustoffe.

Die auf die Ausgangslänge  $l_0$  bezogene Verlängerung bzw. Verkürzung  $\Delta l$  (Bild 1.8) wird als **Dehnung**  $\epsilon$  bezeichnet:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \left[ \frac{\text{mm}}{\text{m}} \right] \text{ bzw. } [\%]$$

### 1.4.6.1 Verformungsverhalten bei mechanischer Beanspruchung

Die Größe der Formänderungen bei mechanischer Beanspruchung hängt ab von

Tabelle 1.8 Beispiele für den E-Modul

Beispiele für den Elastizitätsmodul $E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
Natursteine	5000...100 000
Holz (in Faserrichtung)	8000...13 000
Normalbeton	15 000...40 000
Leichtbeton	1000...28 000
Stahl	210 000
Aluminium	70 000
Kunststoffe	1...4000

- der Art des Baustoffes,
- der Höhe der Beanspruchung,
- der Dauer der Belastung,
- der Höhe der Temperatur.

Bild 1.9 zeigt die Beziehung zwischen der Spannung  $\sigma$  und der Dehnung  $e$  von verschiedenen Baustoffen bei normaler Temperatur und innerhalb kurzer Zeit aufgebrachtener Spannung. Man unterscheidet elastisches und plastisches Verformungsverhalten – je nachdem, ob die elastischen oder plastischen Verformungen überwiegen.

### Elastisches Verhalten

Gehen die Formänderungen infolge von Kräften beim Entlasten sofort wieder vollständig zurück, spricht man von elastischen Baustoffen. Diese elastischen Dehnungen werden reversibel genannt. Bei linear-elastischen Stoffen, bzw. bei niedrigen Spannungen, ist die Dehnung proportional zur Spannung. Es gilt das *Hooke'sche Elastizitätsgesetz*, dessen Proportionalitätsfaktor, der **Elastizitätsmodul (E-Modul)**, eine wichtige Baustoffkenngröße ist:

$$E = \sigma / \epsilon_{el} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Der Elastizitätsmodul (Beispiele in Tabelle 1.8) hat die Dimension einer Spannung und gibt die Steigung der Spannungs-Dehnungs-Linien im elastischen Verformungsbereich an. Bei spröde-elastischen Stoffen, wie Glas und Naturstein, sind die Spannungs-Dehnungs-Linien bis zum Bruch nahezu gerade (Bild 1.9).

Der Bruch spröde-elastischer Stoffe wird als **Sprödebruch** bezeichnet. Er erfolgt schlagartig und kündigt sich nicht durch große bleibende Verformungen an.

Mit der Dehnung  $\epsilon_1$  in Längsrichtung und der gleichzeitig gemessenen Dehnung  $\epsilon_q$  quer zur Krafrichtung kann die **Querdehnzahl**  $\mu = \epsilon_q / \epsilon_1$  ermittelt und daraus der **Schubmodul**  $G = E / 2(1 + \mu)$  [N/mm<sup>2</sup>]

berechnet werden. Der Schubmodul stellt – wie der E-Modul für die Dehnung – eine lineare Beziehung zwischen Schubspannung und Verzerrung her.