

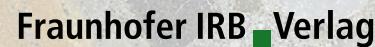


Röhling | Eifert | Jablinski

Betonbau

Band 3

**Spezialbetone – Anwendungsgebiete –
Sichtbeton**



Fraunhofer IRB Verlag

Stefan Röhling, Helmut Eifert, Manfred Jablinski

Betonbau

Band 3

Spezialbetone – Anwendungsgebiete – Sichtbeton

Stefan Röhling, Helmut Eifert, Manfred Jablinski

Betonbau

Band 3

Spezialbetone – Anwendungsgebiete – Sichtbeton

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.
ISBN (Print): 978-3-8167-8646-7
ISBN (E-Book): 978-3-8167-8763-1

Herstellung: Tim Oliver Pohl

Layout: Daniela Heinemann

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Satz: Mediendesign Späth GmbH, Birenbach

Druck: Gulde Druck GmbH & Co. KG, Tübingen

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Redaktionsschluss: 27.01.2012

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2013
Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon (0711) 9 70-25 00
Telefax (0711) 9 70-25 08
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
<http://www.baufachinformation.de>

Geleitwort für die Reihe »Betonbau«

In einem Zeitraum von nahezu 150 Jahren ist der Beton zu einem der wichtigsten Baustoffe geworden, mit dem heute sehr unterschiedliche und vielfältige Bauaufgaben erfüllt werden können und zu dem bei besonderen Anforderungen keine Alternative besteht.

Die günstige Formbarkeit und nahezu unbegrenzte Gestaltungsmöglichkeit von Betonbauwerken, die hohe Tragfähigkeit bei Druckbeanspruchung, der Verbund mit dem Betonstahl zur Aufnahme der Zugkräfte, der Widerstand bei chemischem Angriff und biogenen Belastungen, der Brandschutz der Stahlbetonkonstruktionen und die Möglichkeit der industriellen Herstellung von Beton und von Betonfertigteilen sowie weitere Vorteile haben dazu geführt, dass in Verbindung mit dem großen Anwendungsumfang oft von einem Jahrhundertbaustoff gesprochen wird.

In den vergangenen zwei Jahrzehnten war der Betonbau geprägt durch eine Reihe von bedeutsamen Veränderungen und innovativen Entwicklungen. Diese betreffen die Ausgangsstoffe für den Beton, die Betontechnologie, die Eigenschaften und die Regelwerke zur Qualitätssicherung. Besonders faszinierend ist die enorme Steigerung der Festigkeit, die wie bei keinem anderen Baustoff erreicht werden konnte. In wenigen Jahrzehnten nahm die mittlere Druckfestigkeit von 30 N/mm^2 auf etwa 150 N/mm^2 zu und erreichte mit der Ultrahochfestigkeit noch darüber liegende Werte. Damit wurden Spannweiten, Bauhöhen von Gebäuden und eine Feingliedrigkeit der Konstruktionen realisierbar, an die vorher nur im Stahlbau gedacht werden konnte. Weitere Beispiele der Innovation sind die Verbesserung des Zugtragverhaltens durch die Zugabe von Fasern aus verschiedenen Werkstoffen (Stahl, Kunststoff, textile Gewebe), die Vergrößerung des Widerstandes gegen chemische Beanspruchungen und die Belastung durch Frost -Tauwechsel, die Erhöhung der Dichtigkeit gegenüber Wasser und umweltgefährdenden Stoffen sowie die Anwendung als Sichtbeton. Diese Entwicklungen wurden begünstigt durch die Bereitstellung von stark verflüssigenden Zusatzmitteln für die Verbesserung der Verarbeitung des Frischbetons und die Erhärtingsbeschleunigung sowie von neuen Zusatzstoffen, wie Mikro- und Nanosilika, Farbpigmenten und Polymeren. Erwähnenswert ist auch die breitere Anwendung bekannter puzzolanischer und latent-hydraulischer Zusatzstoffe, wie Flugasche und Hüttensand, für die Herstellung von Zementen und des Betons. Die Verwendung von Flugasche und Hüttensand in Zementen hat auch zur Reduzierung des Klinkeranteiles geführt, mit den vorteilhaften Auswirkungen auf den Energieeinsatz zur Zementherstellung und den Klimaschutz durch Verminderung des CO_2 -Ausstoßes.

Bei vielen Bauaufgaben müssen die für Beton charakteristischen Vorgänge bei der Hydratation und Erhärting besonders berücksichtigt werden. Beispielsweise können durch das Abfließen der Hydratationswärme und die Austrocknung Spannungen entstehen, die durch Rissbildung Schäden verursachen, so dass die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr gegeben sein kann. Diese zusätzlichen Beanspruchungen aus Zwang, Schwinden und Kriechen werden durch verschiedene Maßnahmen vermindert und nachteilige Auswirkungen durch eine entsprechende Mindestbewehrung verhindert.

Deutliche Fortschritte sind in der Verfolgung der Vorgänge in der Mikrostruktur des Zementsteines bei der Erhärting, der Entwicklung der Eigenschaften und den vielfältigen Einwirkungen festzustellen. Aus der Tatsache heraus, dass alle vorteilhaften und nachtei-

ligen Eigenschaften ihre Ursache in der Entstehung und der Struktur des Zementsteines haben, wird mit großer Aufmerksamkeit der Einfluss der Erhärtungs- und Nutzungsbedingungen auf die Bildung und Veränderungen der Hydrate verfolgt. Deshalb ist verständlich, dass seit längerer Zeit versucht wird, direkte Beziehungen zwischen den Strukturkenngrößen und den makroskopischen Eigenschaften des Betons herzustellen.

Die komplizierten Zusammenhänge werden zunehmend mathematisch erfasst und in Computerprogramme integriert. Dadurch werden Möglichkeiten geschaffen, die bei bestimmten Zusammensetzungen zu erwartenden Eigenschaften sowie das Verhalten des Betons bei Beanspruchungen während der Erhärtung und der Nutzung zu prognostizieren. Nicht zu erkennen ist dabei, dass die mathematische Durchdringung der Vorgänge im Vergleich zur Bemessung im Beton- und Stahlbetonbau erst am Anfang steht.

Die aus Beton bestehenden Bauwerke verkörpern einen gewaltigen finanziellen und materiellen Aufwand. Unter diesem Gesichtspunkt besitzt die Dauerhaftigkeit und langfristige Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit eine herausragende Bedeutung. Im vergangenen Zeitraum wurde der Problematik ständig zunehmend Aufmerksamkeit gewidmet, da sich gezeigt hat, dass außerordentlich selten Baukonstruktionen infolge zu geringer Festigkeit versagen, sondern vergleichsweise häufiger infolge mangelhafter Dauerhaftigkeit und weiterhin, dass hohe Festigkeit nicht gleichbedeutend mit hoher Dauerhaftigkeit ist. Die daraus resultierenden Anforderungen reichen von der beanspruchungsgerechten Planung über die Auswahl der geeigneten Zusammensetzung sowie die sachgemäße Herstellung und Verarbeitung des Frischbetons bis zur Instandhaltung der Betonbauwerke. Daraus resultiert zwangsläufig die Notwendigkeit eines engen Zusammenwirkens aller Beteiligten in der Bauvorbereitung und Baudurchführung.

Von Auswirkungen auf die Betonbauweise ist auch die Herausbildung der Europäischen Union mit der Harmonisierung der Regelwerke. Eine Vielzahl von Vorschriften wurde nach Einführung in den einzelnen Ländern bereits verbindlich, weitere sind in Vorbereitung oder liegen im Entwurf vor. Die Angleichung der deutschen Normen an ein in Europa neu gestaltetes und erweitertes Vorschriftenwerk ist ein Prozess, der auch zwangsläufig mit Änderungen in den fachlichen Auffassungen und den Gewohnheiten der Planungs- und Betoningenieure sowie der Auftraggeber und bauausführenden Unternehmen verbunden ist. Der große Umfang des Regelwerkes und anderer fachlicher Veröffentlichungen erschwert dem Einzelnen oft, den Überblick zu behalten und Neuerungen einordnen zu können.

Trotz umfangreicher Erfahrungen im Umgang mit dem Baustoff Beton können Mängel und Schäden während der Baudurchführung und an fertig gestellten Bauwerken nicht ausgeschlossen werden. Die Ursachen liegen oft in der Unkenntnis der Regelwerke, mangelhaftem Wissen um die Besonderheiten der Bauweise, falsch verstandener Wirtschaftlichkeit und einer ungenügenden Qualitätskontrolle während der Baudurchführung. Nicht beachtet werden auch die Koordination der am Bau Beteiligten und die Weitergabe von technischen Informationen, beispielsweise aus der Tragwerksplanung an die Bauausführung. Voraussetzung für ein erfolgreiches Zusammenwirken der Partner ist nicht nur eine hinreichende Fachkenntnis des Einzelnen auf seinem eigenen Fachgebiet, sondern auch in den benachbarten Tätigkeitsbereichen, damit Anforderungen richtig formuliert und Probleme aus sich widersprechenden Festlegungen rechtzeitig erkannt werden können.

Der Inhalt der Reihe »Betonbau« mit der Aufteilung in drei Bände wurde unter den vorgenannten Gesichtspunkten ausgewählt und gestaltet. Autoren und Verlag möchten dazu beitragen, dass Architekten und Ingenieure bei auftretenden Fragen in der Bauplanung und Baudurchführung eine Antwort finden und darüber hinaus angeregt werden, sich mit einzelnen Sachverhalten weiter vertiefend zu beschäftigen. Gleichzeitig soll die Ausbildung der zukünftig im Betonbau arbeitenden Ingenieure unterstützt werden.

Die Autoren

Vorwort zum Band 3

Der dritte Band der Reihe behandelt besondere Eigenschaften des Betons und spezielle Betonierverfahren, die entwickelt wurden, um die vielfältigen Bauaufgaben unter Verwendung des Baustoffes Beton bewältigen zu können. Die letzten Jahrzehnte zeigen, dass die Innovation im Betonbau noch nicht beendet ist.

Besondere Eigenschaften sind mit Begriffen wie hochfester und ultrahochfester Beton, flüssigkeitsdichte Betone, Beton mit hohem Wassereindringwiderstand, Leichtbeton, Schwerbeton, Strahlenschutzbeton, Faserbeton, Beton für hohe Temperaturen sowie Beton mit hohem Brand- und Feuerwiderstand verbunden und werden anwendungsorientiert beschrieben. Der Vielfalt, den neueren Entwicklungen und den erweiterten Anwendungsbereichen wird der notwendige Raum gegeben. Beispielsweise hat der hohe Brand- und Feuerwiderstand des Betons in Verbindung mit Fasern im Tunnelbau aktuell eine große Bedeutung erlangt. Ebenso wird auf den Textilbeton als einem gleichsam neuen Baustoff mit neuen Berechnungs- und Konstruktionsmethoden hingewiesen. Die Kenntnis der Eigenschaften dieser besonderen Betone ist für die beanspruchungsgerechte Tragwerksplanung unumgänglich.

Die speziellen Verfahren im Betonbau, die sich in Begriffen wie Spritzbeton, Unterwasserbeton, Beton für Pfähle verschiedener Pfahlsysteme, Gleitbau, leichtverdichtbarer und selbstverdichtender Beton widerspiegeln, sind nicht nur an eine entsprechende technische Ausstattung gebunden, sondern verlangen auch eine darauf abgestimmte Zusammensetzung des Betons. Auf diesen Zusammenhang wird bei der Darstellung ausführlich eingegangen.

Sonderaufgaben des Betonbaues erfordern, dass konstruktive und betontechnologische Gegebenheiten sowie äußere Einwirkungen in der Tragwerksplanung, Bauvorbereitung und Bauausführung im Zusammenhang berücksichtigt werden. Dazu zählen der Massenbetonbau, Konstruktionen mit besonderen Anforderungen an die Dichtigkeit, wie wasserundurchlässige Bauwerke und Konstruktionen im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, das Betonieren bei tiefen und hohen Temperaturen, das Herstellen von Fahrbahndecken und Betonböden, die unter Beachtung dieses Zusammenhangs beschrieben werden. Beispielsweise sind im Massenbetonbau die Auswirkungen der entstehenden Hydratationswärme nicht zu unterschätzen.

Unverkennbar haben heute Anforderungen an die Gestaltung der Oberflächen der Betonbauteile bzw. -bauwerke zugenommen. Der Begriff des Sichtbetons hat in den Überlegungen der Architekten einen festen Platz eingenommen. Nicht zu verkennen ist

aber die Schwierigkeit, befriedigend gestaltete Betonoberflächen zu erhalten und den Auftraggeber zufriedenzustellen. Deshalb wird auf diese Problematik in Wort und Bild ausführlich eingegangen.

Zum jeweiligen Abschnitt des Bandes 3 werden die Regelwerke genannt, besonders wichtige Vorschrifteninhalte werden erläutert. Nicht zu übersehen ist dabei, dass die europäische Normung zu einem größeren Umfang des Vorschriftenwerkes geführt hat, da auf nationale, ergänzende Anwendungsregeln noch nicht verzichtet werden kann.

Eine Zusammenstellung der zum Redaktionsschluss vorliegenden Normen, Vornormen und Normentwürfe zum Betonbau bildet den Abschluss dieses Bandes.

Die Autoren

1	Betone mit besonderen Eigenschaften	15
1.1	Hochfester Beton	15
1.1.1	Eigenschaften und Besonderheiten des hochfesten Betons	15
1.1.2	Zusammensetzung des hochfesten Betons	19
1.1.3	Verarbeitung und Nachbehandlung	22
1.1.4	Gütenachweis und Qualitätssicherung	23
1.1.5	Besonderheiten des ultrahochfesten Betons	24
1.1.5.1	Stoffliche Charakteristik eines Reactive Powder Concretes 200	25
1.1.5.2	Festkörperparameter	25
1.2	Flüssigkeitsdichte Betone	26
1.2.1	Lastfälle und Regelwerke	26
1.2.2	Betone mit hohem Wassereindringwiderstand	28
1.2.3	Betone für den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	30
1.3	Leichtbeton	33
1.3.1	Zusammensetzung des Leichtbetons	34
1.3.2	Leichte Gesteinskörnungen	36
1.3.3	Konstruktiver Leichtbeton	37
1.3.3.1	Eigenschaften und Besonderheiten des konstruktiven Leichtbetons	37
1.3.3.2	Zusammensetzung des konstruktiven Leichtbetons	44
1.3.3.3	Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung	46
1.3.3.4	Prüfung und Überwachung von konstruktivem Leichtbeton	47
1.3.3.5	Anwendungsgebiete	48
1.3.3.6	Selbstverdichtender Konstruktionsleichtbeton (SVLB)	49
1.3.4	Wärmedämmender Leichtbeton	49
1.3.4.1	Wärmedämmender Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge	51
1.3.4.2	Porenbeton	51
1.3.4.3	Porenleichtbeton (Schaumbeton)	52
1.3.5	Korrosionsverhalten des bewehrten Leichtbetons	53
1.4	Schwerbeton	55
1.4.1	Anforderungen an Schwerbeton	55
1.4.2	Schwerbeton als Strahlenschutzbeton	55
1.4.3	Ausgangsstoffe	59
1.4.4	Betonzusammensetzung	60
1.4.5	Verarbeitung	62
1.5	Faserbeton	62
1.5.1	Überblick und Vorschriften	63
1.5.2	Anwendungsgebiete	63
1.5.3	Faserarten und Faserformen	65
1.5.3.1	Fasern aus Stahl	65
1.5.3.2	Kunststofffasern (Polymerfasern)	66
1.5.3.3	Glasfasern	67
1.5.3.4	Kohlenstofffasern	67
1.5.3.5	Zellulosefasern	67
1.5.4	Wirkung der Fasern im Beton	68

1.5.4.1	Wirkung auf die Rissbildung	68
1.5.4.2	Wirkung der Faserform und der Verteilung	69
1.5.4.3	Mechanische Eigenschaften	70
1.5.4.4	Dauerhaftigkeit	72
1.5.5	Zusammensetzung und Verarbeitung des Faserbetons	73
1.5.5.1	Zusammensetzung des Faserbetons	73
1.5.5.2	Herstellung und Verarbeitung des Faserbetons	74
1.5.6	Stahlfaserbeton nach DAfStb-Richtlinie	75
1.5.6.1	Geltungsbereich	75
1.5.6.2	Faserauswahl und Leistungsklassen	75
1.5.6.3	Betonherstellung, Prüfungen, Überwachung	78
1.5.7	Glasfaserbeton	79
1.5.8	Beton mit Kunststofffasern	80
1.5.9	Einsatz von Fasern für den Brandschutz	80
1.5.10	Textilbewehrter Beton	81
1.5.10.1	Textilien	81
1.5.10.2	Betonzusammensetzung	82
1.5.10.3	Vorteile des Textilbetons	82
1.5.11	Hochduktiler Beton mit Kurzfaserbewehrung	83
1.5.12	Fasern im Ultrahochleistungsbeton	84
1.6	Normalbetone für Temperaturen bis 250 °C	84
1.6.1	Auswirkungen von Temperaturen bis 250 °C auf Normalbeton	85
1.6.2	Veränderungen der Eigenschaften von Normalbetonen bei Temperaturen bis 250 °C	86
1.6.3	Berücksichtigung erhöhter Temperaturen bis 250 °C in der DIN 1045	86
1.7	Beton mit hohem Brand- und Feuerwiderstand	88
1.7.1	Betoneigenschaften bei extremen hohen Temperaturen	88
1.7.2	Planungsgrundlagen	91
1.7.3	Feuerbeton	94
1.8	Literatur	95

2 Spezielle Betonierverfahren und -methoden 101

2.1	Spritzbetonieren	101
2.1.1	Vorschriften und Anwendungsgebiete	101
2.1.1.1	Begriffe und Vorschriften	101
2.1.1.2	Europäischer Normenkomplex »Spritzbeton«	102
2.1.1.3	Ausgangsstoffe	106
2.1.1.4	Eigenschaften und Anwendungsgebiete	107
2.1.1.5	Verstärkungen und Instandsetzung	108
2.1.2	Spritzbetontechnik	109
2.1.2.1	Rückprall	109
2.1.2.2	Veränderung der Zusammensetzung der Spritzbetonschicht	110
2.1.2.3	Anforderungen an den Düsenführer	112

2.1.2.4	Vorbehandlung der Auftragsfläche	115
2.1.2.5	Betondeckung	116
2.1.2.6	Nachbehandlung	117
2.1.2.7	Genauigkeit und Ebenflächigkeit	117
2.1.2.8	Farbgleichheit	119
2.1.2.9	Nachweise und Prüfungen	119
2.1.2.10	Anzahl der Prüfungen (Prüfdichte) nach DIN 18551, Tabelle 1	120
2.1.2.11	Spritznebel	120
2.1.3	Spritzbetonverfahren	122
2.1.3.1	Trockenspritzverfahren	122
2.1.3.2	Nassspritzverfahren	122
2.1.4	Maschinentechnik des Spritzbetons	124
2.1.4.1	Dünnstromförderung	124
2.1.4.2	Nassspritzverfahren (Dichtstromförderung)	124
2.1.4.3	Spritzdüsen	125
2.1.4.4	Betonspritzmaschinen	125
2.1.4.5	Treibluftversorgung	127
2.1.4.6	Dosiersysteme für Beschleuniger	127
2.1.4.7	Stahlfaserzugabegeräte	128
2.2	Vakuumieren des Betons	129
2.2.1	Wirkungsweise der Vakuumbehandlung	130
2.2.2	Technische Ausrüstung und Durchführung	132
2.2.3	Vorteile des Vakuumierens	134
2.3	Unterwasserbetonieren	134
2.3.1	Zusammensetzung des Unterwasserbetons	135
2.3.2	Verfahrensvarianten	137
2.4	Beton für Ortbetonbohrpfähle und Ortbetonrammpfähle	141
2.4.1	Pfahlsysteme	143
2.4.1.1	Ortbetonrammpfähle	143
2.4.1.2	Schraubpfähle	145
2.4.1.3	Verpresste Verdrängungspfähle	145
2.4.1.4	Mikropfähle	145
2.4.1.5	Pfahlsysteme nach Zulassung	146
2.4.1.6	Bohrpfähle	146
2.4.2	Anforderungen an die Betonbestandteile und an den Beton	149
2.4.3	Betoneinbau	153
2.4.4	Pfahl-Integritätsprüfungen	154
2.5	Beton für den Gleitbau	155
2.5.1	Gleitbauverfahren	155
2.5.2	Anforderungen an die Konstruktion	156
2.5.3	Anforderungen an den Beton	157
2.5.4	Betoneinbau	157
2.5.5	Oberfläche	158
2.5.6	Genauigkeiten	158
2.5.7	Frischbetondruck und Schalungsreibung im Gleitbau	159

2.5.7.1	Frischbetondruck	159
2.5.7.2	Schalungsreibung	159
2.6	Leichtverdichtbarer Beton (LVB)	161
2.6.1	Stoffliche Charakteristik	161
2.6.2	Frisch- und Festbetoneigenschaften	161
2.6.3	Anwendungen von leicht verdichtbarem Beton	162
2.7	Selbstverdichtender Beton (SVB)	163
2.7.1	Vorschriften	163
2.7.2	Stoffliche Charakteristik	163
2.7.2.1	Der Mehlikorntyp	164
2.7.2.2	Der Stabilisierertyp	165
2.7.2.3	Der Kombinationstyp	165
2.7.3	Frisch- und Festbetoneigenschaften	166
2.7.4	Anwendung von Selbstverdichtenden Betonen	167
2.7.5	Prüfungen und Abnahme auf der Baustelle	169
2.7.5.1	Prüfverfahren	169
2.7.5.2	Abnahme und Prüfung von SVB auf der Baustelle	178
2.7.6	Einbau von Selbstverdichtendem Beton	181
2.7.7	Frischbetonseitendruck bei Selbstverdichtendem Beton	182
2.7.8	Anforderungen an Schalung, Fugen, Dichtigkeit, Einbauteile, Auftriebssicherung	183
2.7.9	Überwachung beim Einbau von Selbstverdichtendem Beton	184
2.8	Literatur	185

3 Sonderaufgaben im Betonbau 189

3.1	Betontechnische Maßnahmen bei der Herstellung massiger Bauteile (Massenbetonbau)	189
3.1.1	Auswirkungen der Wärmeentwicklung in dickeren Bauteilen	190
3.1.2	Betontechnologische und konstruktive Maßnahmen zur Verminderung der Rissgefahr	192
3.1.2.1	Zusammensetzung des Betons	192
3.1.2.2	Unterteilung der Konstruktion in Betonierabschnitte	193
3.1.2.3	Senkung der Frischbetontemperatur	196
3.1.2.4	Kühlung des erhärtenden Betons	197
3.2	Konstruktionen mit erhöhten Anforderungen an die Dichtigkeit	198
3.2.1	Wasserundurchlässige Bauwerke	198
3.2.1.1	Maßgebliche Beanspruchungen und Nutzungsklassen	198
3.2.1.2	Konstruktion	200
3.2.1.3	Fugenausbildung	202
3.2.1.4	Bauausführung und Überwachung	204
3.2.1.5	Selbstheilung der Risse	205
3.2.1.6	Bauen mit Elementwänden	206
3.2.2	Betonbau im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	208

3.2.2.1	Nachweis der Dichtigkeit	208
3.2.2.2	Konstruktion und Bauausführung	210
3.2.2.3	Überwachung	210
3.2.2.4	Maßnahmen nach der Beaufschlagung	211
3.3	Ausführung der Betonarbeiten unter Winterbedingungen	211
3.3.1	Auswirkungen des Winterwetters	212
3.3.1.1	Folgen der Einwirkung des Winterwetters	212
3.3.1.2	Phasen der Einwirkung tiefer Temperaturen	213
3.3.2	Maßnahmen für die Ausführung der Betonarbeiten im Winter	214
3.3.2.1	Mindeststeinbautemperatur	215
3.3.2.2	Auswahl einer geeigneten Zusammensetzung für den Winterbeton (Winterrezepturen)	216
3.3.2.3	Ermittlung der Frischbetontemperatur	217
3.3.2.4	Zuführung von Wärme während des Herstellungs-, Verarbeitungs- und Erhärtungsprozesses	219
3.3.2.5	Verminderung der Wärmeverluste bei Transport, Förderung und Einbau des Frischbetons	220
3.3.2.6	Verminderung der Wärmeabgabe des erhärtenden Betons	222
3.3.2.7	Winterbetoniermethoden	223
3.3.3	Gefrierbeständigkeit des erhärtenden Betons	225
3.3.4	Ausschafffestigkeit und Ausschaltertermine bei kühler Witterung	226
3.3.5	Kritische Temperaturdifferenzen	228
3.3.6	Qualitätssicherung	230
3.4	Durchführung der Betonarbeiten im Sommer und im heißen Klima	233
3.4.1	Wirkungen des heißen Wetters	234
3.4.2	Begrenzung der Frischbetontemperatur	235
3.4.3	Absenkung der Frischbetontemperatur	235
3.4.4	Einsatz von Splittereis	236
3.4.5	Kühlen durch flüssigen Stickstoff	238
3.4.6	Maßnahmen für das Betonieren bei heißem Wetter	238
3.5	Fahrbahndecken aus Beton	240
3.5.1	Anforderungen an den Straßenbeton	240
3.5.2	Zusammensetzung des Straßenbetons	244
3.5.3	Herstellung und Einbau des Straßenbetons	245
3.5.4	Weitere Erfordernisse bei Betondecken	247
3.5.5	Verkehrsfreigabe	248
3.5.6	Straßenbeton unter Verwendung von Fließmitteln	248
3.5.7	Befestigung von Straßen mit Walzbeton	248
3.6	Betonböden	249
3.6.1	Einwirkungen auf Betonböden	249
3.6.2	Konstruktion und Bemessung von Betonböden	250
3.6.3	Hinweise zur Ausführung von Betonböden	254
3.7	Architektonische Gestaltung der Oberflächen der Betonbauteilen	256
3.7.1	Architektur und Sichtbeton	256
3.7.2	Begriffe und Abgrenzungen	261

3.7.3	Durch die Schalhaut gestaltete Betonoberflächen (Sichtbeton)	263
3.7.3.1	Anforderungen an Sichtbetonoberflächen	263
3.7.3.2	Grundlagen der Planung von Sichtbeton	264
3.7.3.2.1	Das Sichtbetonteam	264
3.7.3.2.2	Ausschreibung von Sichtbeton	264
3.7.3.2.3	Das DBV/VDZ-Merkblatt »Sichtbeton«	266
3.7.3.2.4	Spezielle Angaben in Ausschreibungen für Fertigteile	268
3.7.3.3	Ausführung von Sichtbetonbauteilen	269
3.7.3.3.1	Schalhaut und Betonfläche	269
3.7.3.3.2	Anordnung und Einbau der Bewehrung	275
3.7.3.3.3	Zusammensetzung und Einbau des Betons	276
3.7.3.3.4	Ausschalen und Nachbehandlung	280
3.7.3.3.5	Das System »Frischbeton-Trennmittel-Schalhaut«	280
3.7.3.3.6	Besondere Prüfungen für Sichtbeton	280
3.7.4	Nachträglich bearbeitete und behandelte Betonflächen	281
3.7.5	Verwendung eingefärbter Betonmischungen	284
3.7.6	Beurteilung und Abnahme von Sichtbetonflächen	287
3.7.6.1	Leistungsbeschreibung, Vertrag und Abnahmekriterien	287
3.7.6.2	Automatisierte Bildverarbeitung	288
3.7.6.3	Fehler, Abweichungen, Mängel	289
3.7.7	Nachträgliche Veränderungen der Betonoberfläche	292
3.8	Literatur	294
4	Zusammenstellung der Normen, Vornormen und Normentwürfe	299
4.1	Normen für die Betonausgangsstoffe	299
4.1.1	Zement	299
4.1.2	Gesteinskörnungen	299
4.1.3	Wasser und Betonzusätze	299
4.1.4	Betonstahl	300
4.2	Normen für Beton, Stahlbeton und Spannbeton	300
4.3	Richtlinien, zusätzliche Vorschriften	301
4.4	Prüfnormen und Prüfvorschriften	302
4.4.1	Zement	302
4.4.2	Gesteinskörnungen	302
4.4.3	Betonzusätze und Betonstahl	304
4.4.4	Frischbeton	304
4.4.5	Festbeton, Faserbeton, Beton in Bauwerken	305
4.5	Sonstige Normen	306
Sachregister		307