

Rolf Pächwitz

Entwicklung von Beton und Eisen zur Brücke aus Spannbeton

Eine chronologische Betrachtung

Wissenschaftliche Studie

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2005 GRIN Verlag
ISBN: 9783640185818

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/114238>

Rolf Pächwitz

Entwicklung von Beton und Eisen zur Brücke aus Spannbeton

Eine chronologische Betrachtung

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

http://www.twitter.com/grin_com

Rolf Pächnatz

Entwicklung von Beton und Eisen
zur Brücke aus Spannbeton

Eine chronologische Betrachtung

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand nach meiner beruflichen Tätigkeit, die 1941 als Lehrling, auch auf Betonbaustellen, begann, 1946 sich im Maurerhandwerk und nach den einzelnen Studienabschlüssen als Architekt, Statiker, Spanningenieur fortsetzte und letztlich 2002 als Prüflingenieur für Baustatik endete.

Während dieser Zeit konnte ich die einschlägigen Fortschritte in der Forschung und der Entwicklung von Baustoffen und Ausführungstechniken nur insoweit eingehend verfolgen, wie es meine tägliche Arbeit bedingte und erlaubte.

Nach Beendigung meiner Erwerbstätigkeit habe ich mich mit dieser chronologischen Betrachtung der gegenseitigen Abhängigkeit von Forschung und Ausführung im Spannbetonbau um eine Übersicht bemüht.

Theorien, Techniken und Entwicklung der Baustoffe hatten ihre Höhepunkte in der Weiterentwicklung oftmals in verschiedenen Zeitabschnitten. Auch veränderten sich die Hilfsmittel des Ingenieurs: Von Rechenschieber und Logarithmentafel hin zu Rechenmaschinen und Computern. Langjährige Erfahrung konnte nun oft durch schnelle Vergleichsrechnungen ersetzt werden.

Mein Dank gilt Professor Kurt Mauel für seine hilfreichen Anregungen zur Gestaltung dieses Themas.

Inhalt

1. Aufgabenstellung

1.1 Ausgangssituation	Seite 1
1.2 Abgrenzung und Zielsetzung	2
1.3 Untersuchungsmethoden.....	3

2. Beton 4

2.1 Zement	4
------------------	---

2.1.1 Historische Angaben (Phönizier, Griechen, Römer)	
2.1.2 Weiterentwicklung	5
(Frankreich, England)	
2.1.3 Entwicklung in Deutschland	6

1910 Handelszemente	
1927 Normenzemente	
1932 Höherwertige Normenzemente	
1944 Portlandzement	
1953 Titanoxyd	
1954 Reduzierung der Anforderungen	7
1974 Z 250 bis Z 550	
1978 Z 25 bis Z 55	
1986 Zulassungen für Zemente	
1995 Euronorm für Z 32,5 bis Z 52	8
1997 Anwendungsbereiche	
2001 Expositionsklassen X 0 bis XM 3	
2002 Spezialzemente	

2.1.4 Neuere Spezialzemente (2003)	9
--	---

2.1.5 Prüfmethode.....	10
------------------------	----

1944 Fünf Anforderungen	
1970 Neue Prüfverfahren	
1974 Mahlfineinheiten	
1997 CEM-Anforderungen	

2.1.6 Regelwerke für Zement	
-----------------------------	--

1928 Einführung der AMB	
1932 Einführung der DIN1164	11
1942 DIN1164 als 1. Neufassung	
1958 DIN1164 als 2. Neufassung	
1970 DIN1164 als 3. Neufassung	
1978 Bauaufsichtliche Zulassung von Zement	
1986 Neufassung dieser Zulassung	

1990 Prüfverfahren nach EN196
1994 Anforderungen an Zement
1995 Güteüberwachung von Zement

2.2 Zuschlagstoffe	12
1944 Geeignete Stoffe - Siebkurven	
1953 Weitergehende Unterteilung	
1971 Neue Sieblinien A bis F	
1974 Neue Sieblinien 1 bis 5	13
1986 Leichtzuschläge	
1988 Alkaliempfindliche Bestandteile im Zuschlag	
1995 Alkalien im Erdreich	14
1998 Für hochfesten Beton	
2001 Für ultra hochfesten Beton	
2003 Für selbstverdichtenden Beton	
2.3 Anmachwasser	15
2.3.1 Allgemeine Angaben	
2.3.2 Von 1943 bis 2003.....	16
1943 Geeignete Wässer	
1953 Wasser-Zement-Faktor	
1974 Chloridgehalt	
1995 Verwertung von Restwasser	17
1998 Reduzierung des W/Z-Wertes durch Microsilika.....	18
1999 Wasser für hochfesten Beton	
2001 Wasser für ultra hochfesten beton	
2002 Wasser für selbstverdichtenden Beton.....	19
2003 Unempfindlichkeit gegen den W/Z-Wert	
2.4 Zusatzmittel	20
1944 Traß und basische Hochofenschlacke	
1953 Luftporenbildende Zusätze	
1971 Sieben Betonzusatzmittel	
1995 Puzzolanische Stoffe	21
1999 Steinkohlenflugasche.....	22
2001 Mikrosilika	
2003 Einmischen von Mikrosilika	
2.5 Betone	23
2.5.1 Von 1924 bis 1928; Mischungen und Benennungen	
2.5.2 Von 1938 bis 2003.....	24
1938 Neue Mischungen; Festigkeiten und Wasser	
1971 Weitere Mischungsverhältnisse	25
1974 Betone I und II, B 100 bis B 550	
1986 Neue Bezeichnungen B 10 bis B 55.....	26
1999 Hochfeste Betone B 65 bis B 115	

2000 33 Betonarten	27
2001 Neue Festigkeitsklassen für Schwer- und Leichtbeton,	28
Ultra-Hochleitungsbeton und selbstverdichtenden Beton	
2002 Stahlfaserbeton.....	29
2003 Beton bis 200 N/mm ² Festigkeit	
2.6 Herstellung von Beton	34
2.6.1 In der Frühzeit	
2.6.2 Von 1932 bis 2003	
1932 Erdfeuchter und flüssiger Beton	
1938 Zementersparung.....	36
1944 Mischungsverhältnisse von 1:1,5 bis 1:21	
1953 Einfluß des Porenraumes	38
1971 Einfluß der Frischbetonsteife	
1978 Mehlkornzusatz, Konsistenz K1 bis K3	
1985 Pumpbeton bis 432 m Entfernung.....	39
1995 B 5 bis B 55, B I und B II Konsistenzbereiche KS bis KF	40
1999 B 65 bis B 115; Faserbeton.....	42
2001 Konsistenzbereiche F 0 bis F 6, Leichtbeton,.....	45
Ultra-Hochleistungsbeton	
2003 Selbstverdichtender Beton, selbstverdichtender Hoch-	47
leistungsbeton, hochfester Pumpbeton	
2.7 Nachbehandlung.....	52
1938 Anweisung für Mörtel und Beton	
1953 Bestimmungen für die Ausführung DIN1047	
1974 Ausschaltungsfristen	
1986 Umgebungsbedingungen	53
1995 Wasser zuführen oder Austrocknen verhindern	55
1998 Folienabdeckung für einen B 85.....	56
2002 Temperaturmessungen	56
2003 Wärmedämmende Matten.....	59
2.8 Prüfung von Betongütern	59
1938 Stampf- und Eisenbeton, Holzwürfelkästen.....	60
1944 DIN1045 von 1932, Stahlwürfelrahmen	
1953 DIN1047 und 4225, 8 Güteklassen	61
1954 DIN 1048 und 4227, Spannbeton.....	62
1955 Kugelschlagsprüfungen	
1957 Injektionsmörtel.....	64
1958 Behandlung der Probe-Zylinder	
1962 Prismen von 10 x 10 x50 cm ³	
1971 Würfel von 10, 15, 20 oder 30 cm Kantenlänge	
1972 Hilfsmittel und Anweisung zur Würfelherstellung.....	65
1974 Mindestgröße der Würfel nach Richtlinien CEB -FIP-	
1980 Mindestfestigkeit von Zylinder -Probekörpern-	66
1985 B I und B II, B 5 bis B 55, 5 %-Fraktile	
1990 Festigkeit fck nach EC 2	67
1992 Proben- und Entnahmeplan	68

1994 Bohrkerne, Rückprellhammer	69
1997 Hochfeste Betone B 65 bis B 115 nach ENV 206.....	70
1999 Faserbeton.....	72
2001 Ultra-Hochleistungsbeton UHPC.....	73
2002 Selbstverdichtender Beton	
2.9 Widerstand von Beton.....	75
1938 Wasserundurchlässigkeit	
1953 Verschleißfestigkeit	
1954 Temperaturbeständigkeit	76
1965 Säurebeständigkeit	
1970 Wasserundurchlässigkeit	77
1972 Widerstand gegen Säuren in Böden und Wässern.....	78
1973 Widerstand gegen Gebirgs- und Quellwässern	79
1975 Beton mit besonderen Eigenschaften	
1986 Imprägnierung von Oberflächen.....	81
1988 Betonschädliche Zuschläge, Schwingungen	
1990 Dauerhaftigkeit.....	86
1992 Umweltklassen nach ENV 206	88
1994 Karbonatisierung	
1995 Umweltbedingungen, Dauerhaftigkeit, Stöße,	90
Erdbeben, Explosionen	
2000 Hochleistungsbeton	103
2001 Karbonatisierung	
2004 Abrieb und Temperaturen Druckwasserstrahlen	105

3. Stahl..... 108

3.1 Historische Angaben	108
3.2 Weiterentwicklung	108
3.3 Betonstahl	111
3.3.1 Von 1907 bis 1943	
3.3.2 Von 1938 bis 2003.....	113
1938 Betonstab Isteg- und Drillwullsteisen	
1944 Tor- und Nockenstahl	
1953 Queristahl	
1954 Rippenstahl	
1955 Herstellerwerke	
1962 Rippentor- und Noristahl, Muffenstöße.....	114
1972 Vier Betonstabstahl- und drei Betonstahlmattensorten 22/34 bis 50/55	
1979 Betonstabstähle III und IV (U und K),schweißbarer und bi-Stahl	115
1984 Tempore-Stahl.....	116
1986 Drei Betonstabstähle 420 S bis 500 M	
1989 Sieben Stoßverbindungen, Epoxidharzbeschichtung	117

1993 Schubfeste Klebeverbindungen	118
1994 Gewinde- Betonrippenstahl.....	119
2004 Weitere Stoßverbindungen, Duktilität	
2001 Nichtrostende Betonstähle	120
2002 Karbonfaser	122
3.4 Spannstahl	125
3.4.1 Allgemeine Angaben	
3.4.2 Von 1923 bis 2002	
1923 Vorspannung von Röhren nach Emperger	
1928 Patente von Freyssinet	
1936 Patent von Dischinger	
1938 Stahlsaitenbeton nach Hoyer	126
1955 Zwölf Spannstahlsorten 60/90 bis 160/180 aus 2 Werken	
1958 Einundvierzig Spannstahlsorten 55/85 bis 180/200 aus 4 Werken	128
1962 Weitere vier Herstellerwerke	129
1973 Korrosion von Spannstahl	
1979 Zwölf ausländische Hersteller	131
1982 Bauaufsichtlich 88 Spannstähle zugelassen	132
1989 Glasfaser-Spannglieder	
1992 Fremdüberwachung von zwölf Werken	133
1995 Kohlenfaserstoff-Spannglieder	134
1999 Faserverbundwerkstoff-Spannglieder	135
2002 Schadensfälle durch Spannstahl.....	136

4. Spannbeton

4.1 Allgemeine Angaben zur Vorspannung.....	138
4.2 Von 1886 bis 1951.....	138
1886 Zuganker mit Schrauben oder Keilen, Jackson, USA	
1888 Einbetonieren gespannter Drähte, Döhring, Berlin	
1896 Lastspannung durch Vorspannung, Mandl, Wien	
1905 Angespannte Zuganker in Platten, Lund, Norwegen	
1906 Einbetonierte Spannstähle, Koenen, Berlin	
1908 Vorspannung im Frischbeton, Steiner, USA	139
1910 Umwicklung von Rohren, Zissler und Siegart	
1916 Polygonartig eingebaute Spannglieder	
1919 Dünne Drähte in Wettstein-Brettern, Böhmen	
1922 Umwicklung von Behältern, Hewett, USA	
1923 Anstrich für Spanndrähte, Dill, USA	
1927 Überzug von Parafin für den Spannstahl, Färber, Breslau	
1928 Zugbänder von Bögen nach Dischinger, Berlin	140
1929 Anwendungen von Freyssinet, Paris	
1930 Schleuderbetonrohre nach Vianini, Rom	
1932 Rohrleitung nach Lanna, Prag	
1934 Hängewerkartige Spannglieder nach Dischinger, Berlin	

1935 Längs- und quervorgespannte Rohre, Freyssinet, Paris	
1937 Gelenkfugenbalken nach Finsterwalder, Berlin	141
1938 Brücke über die Autobahn bei Wiedenbrück	
1939 Mathematische Behandlung durch Dischinger, Berlin	
1940 Spanndrähte mit Stahlkern, Schorer, USA	142
1941 Marnebrücke nach Freyssinet, Paris	143
1942 Umhüllung der Drähte mit Schwefelmasse, Billner, USA	
1943 „Der Spannbetonträger“ von Mörsch, Stuttgart	
1944 Eisenbahnbrücke nach Magnel, Belgien	
1947 Hängebrückenseil im Spannbeton	144
1948 Keilverankerung nach Morandi, Italien	144
1949 Aufgewalzte Gewinde nach Finsterwalder, München	
1950 Spezialgewinde für Spannglieder nach Donovan, London	145
1951 Lehrbuch von Guyon, Paris	
4.3 Vorspannsysteme	145
1935 Coyne, Frankreich	
1939 Hoyer, Hamburg	
1941 Freyssinet, Paris	
1948 Magnel, Belgien	
1949 Haken; Seilköpfe, Deutschland; BBRV, Schweiz Wickelmaschine, USA	
1950 Wickelmaschine, Schweiz	
1951 Dywidag mit aufgestauchtem Gewinde, Franki, Chalos, Ankerköpfe; Vogt	
1953 Leoba, Hochtief, Zerna, Helder & Franke, Bühler, Tellerfedern,.....	146
Polensky & Zoellner, BBRV Wickelmaschine, England	
1954 Leoba, Lee-McCall, Meier Karig, Mollet, Morandi,	147
Grün & Bilfinger, Heilmann & Littmann, Roebling, Baur-Leonhardt,	
Karl Kübler, Baur-Baresel	
1957 Anforderungen an die Zulassungen	148
1958 Fächerverankerung nach Leonhardt	
1960 Thermoelektrische Vorspannung	
1961 Züblin	
1963 Mo-Ta-La-Verfahren	
1963 Sager & Woerner	
1965 Vorspann-Technik	
1966 53 zugelassene Spannverfahren.....	149
1967 Interspan AG	
1974 Eingängiger Gewindestab System Dywidag	
1978 Allspann	
1979 20 zugelassene Spannverfahren mit 127 Varianten	
1980 26 zugelassene Spannverfahren mit 172 Varianten	
1981 29 zugelassene Spannverfahren mit 207 Varianten	
15 gebräuchliche Verfahren	
Verfahren Züblin, Ph. Holzmann, Bilfinger & Berger	
1982 30 zugelassene Spannverfahren mit 200 Varianten, erstes Glasfaserspannglied	150
1984 31 zugelassene Verfahren mit 265 Varianten	
1985 30 zugelassene Verfahren mit 242 Varianten	
1986 31 zugelassene Verfahren mit 248 Varianten	
1990 35 zugelassene Verfahren mit 257 Varianten	

1993 verzinkte Spannstäbe und Faserverbundstoff-Spannstäbe	
2002 Externe Spannglieder System Dywidag und Suspa	151
4.4 Spannungen infolge Vorspannung	152
4.5 Verformungen infolge Vorspannung	154
4.6 Auflagerkräfte infolge Vorspannung	156
4.7 Grad der Vorspannung	157
1954 Volle, beschränkte, teilweise und zwängungsfreie Vorspannung	
1988 Volle und teilweise Vorspannung	158
4.8 Art der Vorspannung	159
4.8.1 Vor dem Erhärten des Betons	
1888 Vorschläge von Döhring, Berlin	
1906 Versuche von Koenen, Berlin	
1928 Patente von Freyssinet, Paris	
1935 Brücke bei Oelde von Wayss & Freytag	
1938 Spannbahnen nach Hoyer	
1940 Spanndrähte mit Stahlkern.....	160
1953 Spannbett - Definition	
1963 Spannbett - Kosten zu hoch	
1965 Spreizen der Spannglieder	
1988 Mindestbetongüten	
2001 Glatte Drähte nicht mehr zulässig	
4.8.2 Nach dem Erhärten des Betons.....	161
1886 Jackson, USA	
1939 Freyssinet, Paris	
1942 Abeles, London	
1944 Magnel, Gent	
1947 Seile als Spannglieder	
1948 Morandi, Preload	
1949 Leonhardt und Finsterwalder	162
1950 Lee, London	
1953 Definition	
1963 Fertigbauteile	
1965 Universelle Anwendungsmöglichkeit	
1988 Betongüter B 25 bis B 55	
2001 Abstände der Hüllrohre	163
4.8.3 Vorspannung ohne Verbund.....	164
4.8.3.1 Historische Angaben	
4.8.3.2 Von 1923 bis 2001	
1923 Dill, USA	
1927 Gläser, Tschechoslowakei	
1934 Dischinger, Berlin	

1936 Dischinger, Berlin	
1940 Magnel, Gent	
1953 Innerhalb des Betonquerschnittes	
1982 Regeln zur Bemessung	
1989 Gebrauchszustand	
1990 Einzellitzen in den USA und Segmentbauweise	
1995 Erhöhung der Initialvorspannung	165
2001 Bündelung interner Spannglieder	
4.8.4 Ringvorspannung	166
4.8.4.1 Historische Angaben	
4.8.4.2 Von 1910 bis 1990	
1910 Zissler, Siegwert, Deutschland	
1922 Hewett, USA	
1930 Vianini, Rom	
1932 Lanna, Prag	
1935 Freyssinet, Paris	
1948 Preload, USA	
1950 Vogt, Schweiz.....	167
1952 Crowley, England	
1961 László, Budapest	
1965 Segmentbauweise und Lisenen	
1981 Eiförmige Behälter, Druckstollen	
1990 Tanks und Reaktorbehälter	168
4.9 Spannpressen	169
1952 Dyckerhoff & Widmann	
1953 Neun weitere Firmen	
1954 Vierzehn weitere Firmen	
1958 Zwei weitere Firmen (P & Z und Glasfaser)	
4.10 Regelwerke für Spannbeton	170
1943 Mörsch, Stuttgart	
1946 R u š, Zürich	
1950 R u š, Zürich	
1951 Guyon, Paris	
1953 DIN 4227, Oktober 1953	
1957 DIN 1045 zu DIN 4227, März 1957	
1973 DIN 4227, Mai 1960.....	171
1979 DIN 4227, Teil 1 und 5, Dezember 1979	
1982 DIN 4227, Teil 6, Mai 1982	
1983 DIN 4227, Teil 3, Dezember 1983	
1984 Vornorm DIN 4227, Teil 2, Mai 1984	
1986 DIN 4227, Teil 4, Februar 1986	
1988 DIN 4227, Teil 1, Juli 1988	
1993 Eurocode 2, Teil 1	
1994 Eurocode 2, Teil 1-5 und 1-3	172
1995 DIN 4227 -1/A1, Dezember 1995	
2001 DIN 1045-1, Juli 2001	

4.11	Reibungsverluste.....	172
	1949 Versuche von Leonhardt	
	1954 Reibungsbeiwerte	
	1958 Teilverluste	177
	1962 Ringvorspannung	
	1967 Erfahrungen.....	178
	1970 Elektrische Felder	
	1985 Zulassungsreibungswerte	
	2000 Umkehrmethode	180
	2004 Fettgefüllte Hüllrohre	
4.12	Durchführung der Vorspannung.....	181
	1953 Erhärtungsfrist	
	1972 Rückfederung des Traggerüstes.....	182
	1997 Teilvorspannung	183
	2004 Ohne Verbund	184
4.13	Injizieren der Spannkänäle	185
	1944 Magnel, Gent	
	1954 Versuche	
	1955 Eignungsprüfungen	187
	1956 Vorläufige Richtlinien, November 1955.....	189
	1957 Vorläufige Richtlinien, Juli 1957	
	1958 Neues Einpressgerät	
	1962 Schwankungen in der Mörtelqualität	194
	1964 Versuche an langen Kanälen	
	1967 Misserfolge beim Einpressen.....	195
	1970 Richtlinien für das Einpressen, November 1970	196
	1973 Richtlinien für das Einpressen, Juni 1973	
	1975 Versuche mit großen Kanälen	
	1980 DIN 4227 Teil 5: Einpressen von Mörtel, Dezember 1979	198
	1986 Kontrolle der Verfüllung	199
	2002 Normen DIN EN 445 bis 447	202
4.14	Schwinden und Kriechen.....	204
	1911 Erkenntnisse von Freyssinet, Paris	
	1912 Erkenntnisse von Koenen, Berlin	
	1928 Messungen von Freyssinet	
	1939 Theorie von Dischinger, Berlin	
	1940 Erkenntniss von Magnel, Gent	
	1941 Beachtung durch Freyssinet	
	1953 DIN 4227: Kriechen und Schwinden	
	1954 Erklärung des Schwindens	205
	1955 Messungen der Verkürzungen.....	206
	1958 Einfluss auf die schlaffe Bewehrung	207
	1963 Verformungen.....	208
	1972 Fließanteil.....	209
	1979 Einfluss von Feuchte und Leichtzuschlägen	212
	1988 Spannleichtbeton.....	215
	1995 Faserbeton	

1996 Hochleistungsbeton	
2002 Malfeinheit	216

5. Spannbetonbrücken 220

5.1 Belastungsannahmen 220

1925 Dampfwalze und LKW	
1931 Klassen I bis IV, Zusatzkräfte, Lastenzüge	
1952 SLW und LKW, Erdbebenzonen	222
1957 Neun Klassen der Straßenlasten	223
1963 Idealisierte Straßen- und Gleislasten	
1973 Fahrbahnübergänge	228
1976 Einfache Straßenlasten, Stanag 2021, Lastenzüge	
1982 Vier Klassen der Straßenlasten.....	232
1997 Erdbebenlasten.....	232
2001 Probelastungen.....	233
2004 Straßen- und Gleisbelastungen nach Eurocode.....	235

5.2 Regelwerke für Massivbrücken..... 242

1930 DIN 1075 und 1071 werden eingeführt	
1951 DIN 1075, Juli 1951	
1955 DIN 1075, April 1955	
1969 Massivbrücken - Übersicht	
1972 Weitere Massivbrücken - Übersicht.....	243
1975 Lager-Übersicht	
1979 DV 804.....	244
1981 DIN 1075, April 1981	
1985 DIN 4141 Teil 1 und 2 - Lager	
1989 DIN 4141 Teil 14: Elastomere-Lager, Schallschutz	245
1997 Massivbrücken-Übersicht.....	246
2000 DIN 4227-1/A1: Hochleistungsbeton	
2004 DIN 1045-1, Juli 2001	

5.3 Ausgeführte Brücken 247

1928 Bogenbrücke bei Plongastel, Brest	
1935 Brücke über die Autobahn bei Oelde/Westfalen	
1936 Balkenbrücke in Aue, Sachsen	
1938 Brücke über die Autobahn bei Wiedenbrück	
1940 Durchlaufträger in Belgien (Magnet)	
1941 Marnebrücke Luzancy	
1944 Eisenbahnbrücke im Bahnhof Brüssel	
1946 Fünf Marnebrücken	
1947 Elzbrücke bei Bleibach	
1948 Galion-Brücke bei Rio de Janeiro	
1949 Durchlaufträger (Leonhardt)	
1950 Eisenbahnbrücke Heilbronn	
1951 Brücke Neckargartach	248
1952 Rheinbrücke in Worms	
1953 Brücken von 1945 bis 1953	

1954 Brücke über den Traunfluss	251
1960 Schiefwinklige gekrümmte Dreifeldplattenbrücke	
1962 Erster Freivorbau im Taktverfahren	
1963 Brücke über den Maracaibo-See, 827 m lang	
1964 Brücken von 1907 bis 1963.....	252
1965 44 Brücken im Freivorbau	253
1966 Brücke über den Poutchartrain bei New Orleans	256
1969 Brücke über den Lech in Epfach	
1971 Brücken im Taktschiebeverfahren.....	257
1976 Vorgefertigte Spannbetonbrücken.....	261
1982 Zügelgurtbrücke im Taktschiebeverfahren	262
1987 Rombachtal - Eisenbahnbrücke	264
1989 Glasfaserverbund-Brücke	
1995 Externe Vorspannung im Taktschiebeverfahren.....	265
1997 Auswahlverfahren	
1999 102 Brücken mit über 150 m Spannweite.....	267
2000 Längste Hängebrücken und Spannweitzunahme	270
2002 Erste deutsche Brücke in Hochleistungsbeton	271
2004 Gestaltungskonzepte	272
5.4 Baukosten	272
5.4.1 Löhne und Arbeitszeiten von 1850 bis 2002	
5.4.2 Baustoffpreise von 1938 bis 1967.....	275
5.4.3 Entwicklung der Baukosten von 1913 bis 1963.....	277
5.4.4 Verkehrshaushalt von 1950 bis 1980 und 2002	278
5.4.5 Bestand an Brücken von 1965 bis 1975.....	279
5.4.6 Beschäftigte und Bauvolumen von 1960 bis 1970	
5.5 Verkehrswege von 1950 bis 2002.....	280
5.6 .Verkehrsdichte von 1929 bis 2003.....	281
5.7 Überwachung von Brücken.....	284
1951 Probelastung der Brücke Beauvais, Paris	
1959 DIN 1077: Überwachung und Prüfung	
1965 Probelastung der Stubenrauchbrücke, Berlin	
1971 Belastungsversuche beim Abbruch von Brücken	
1977 Schadensfälle	285
1979 DIN 1076: Überwachung und Prüfung	
1983 DIN 1076, März 1983	
1990 Instandhaltung als neuer Begriff	
1994 Belastungstechnik.....	287
1996 Eurocode 2 Teil 1-1: Güteüberwachung.....	288
1999 Norm ISO 2394: Zuverlässigkeit	
2001 Verpressmängel.....	289
2004 Software für Bauwerkserhaltung, zerstörungsfreie Prüfungen.....	291
5.8 Sanierung von Brücken	300

1965 Kaimauer in Los Angeles	
1977 Messungen an Glasfaser-Laminaten	
1981 Nachträgliche zentrische Vorspannung	
1983 Nachträgliche Spannglieder ohne Verbund.....	301
1985 Verkleben mit Epoxidharzen	302
1989 ZTV-RISS/88: Regelwerk für Verfüllen von Rissen	
1992 Verstärkung durch Laschen	304
1995 Instandsetzung durch externe Spannglieder	
1998 Verstärkung durch Hinterschnittanker	307
2000 Verstärkung durch Kunststoffe	308
2002 Verstärkung durch Kohlefaserlamellen.....	310

6. Zusammenfassung	312
7. Schrifttum.....	340
8. Namensverzeichnis	368

1. Aufgabenstellung

1.1 Ausgangssituation

Brücken sind aus unserer Welt nicht mehr wegzudenken und werden doch beim Überfahren kaum noch wahrgenommen, so sehr haben sie sich der oft schwungvollen Trassierung unserer Straßen angepasst.

Auch verliert sich die Erinnerung an die lange Entwicklungszeit der Brückenbaukunst im Dunkel der Geschichte.

Sie ist verbunden mit der allmählichen Umgestaltung der menschlichen Lebensverhältnisse: Vom Leben in der Natur zu einer zielgerichteten Umgestaltung der Natur.

Dieser Prozess führte zu einer Arbeitsteilung, ließ Handwerk und Handel entstehen, für den dann Handelswege gesucht wurden, die oft ihr Ende vor Wasserläufen oder tiefen Schluchten fanden.

Waren die einen noch mittels Fähren zu überwinden, so führten die anderen zum Bau von Hängewerken aus Seilen und Geflecht oder Brücken aus Holz und Naturstein.

Mit der Verwendung hydraulischer Bindemittel aus Kalk und Puzzolanerde nach byzantinischer Überlieferung und gebrannten Ziegeln wurden in Rom besonders unter Kaiser Trajan (98 bis 117 n. Chr.) bemerkenswerte Brückenbauwerke errichtet.

Das Wissen um diese Kunst ging mit dem Untergang des Römischen Reiches über mehr als tausend Jahre verloren und wurde erst wieder durch die St. Benezet Gemeinschaft der Frères Pontificas 1177 beim Bau der Brücke über die Rhone in Avignon neu erarbeitet.

In England, wo zahlreiche Brücken aus Holz entstanden, zwang die Verknappung dieses Materials zur Entwicklung von Guss- und Schmiedeeisen und ab 1825 auch von Schweißisen als Ausgangsmaterial für eine neue Art von Brücken.

Der Massivbrückenbau setzte sich dagegen erst wieder nach der Wiederentdeckung schnell erhärtender hydraulischer Bindemittel, wie durch Josef Asplin (1819 bis 1855) mit seinem durch Brennen einer Mischung aus Ton und gelöschten Kalkstein oder Straßenstaub erzeugten Portland-Zement, durch.

Nach 1850 wurde mehrfach versucht durch Eisenbewehrungen den Betonbauteilen eine höhere Festigkeit zu verleihen. Den Durchbruch erreichte der Pariser Gärtner Josef Monier mit seinen Blumenkübeln und einem Wasserbehälter von immerhin 2000 m³ Fassungsvermögen.

Die erste Theorie zur Berechnung der Tragfähigkeit des Verbundes von Eisen und Beton stellte M. Koenen (1849 bis 1924) im Jahre 1886 auf.

Die Durchsetzung dieser Bauweise erfolgte vor allem durch E. Mörsch mit dem Bau der 1903/1904 erbauten Isar-Brücke bei Grünwald.

Doch zeigte hierbei bei belasteten Balken die Biegezugfestigkeit des bewehrten Betons bald ihre Grenzen durch Bildung von Rissen im Beton.

Ein Ausweg, diesen Nachteil zu umgehen, bestand in dem Prinzip, das Bauelement entgegen der Richtung der zu erwartenden Zugkräfte unter Druck zu bringen. Mit dem ersten Patent hierzu von dem Amerikaner Jackson begann 1886 die Entwicklung des Spannbetons.

Der französische Ingenieur Freyssinet war mit seinen theoretischen und praktischen Fähigkeiten der geeignete Mann, dieser Bauweise zum Durchbruch zu verhelfen.

Die theoretischen Grundlagen zur Berechnung solcher Bauwerke wurden vor allem von G. Magnel (Gent, Belgien), E. Mörsch (Stuttgart) und F. Dischinger (Berlin) erarbeitet.

Damit begann ab Mitte des 20. Jahrhunderts eine stürmische Entwicklung des Spannetonbrückenbaus, die von den Nutzern dieser Baukunst beim schnellen Überfahren kaum noch wahrgenommen werden und erst zur Kritik Anlass geben, wenn sie in der Ansicht als reine Zweckbauten und störend im Landschaftsbild empfunden werden.

Deshalb geht die Entwicklung hin zur formschönen Gestaltung der Brücken und deren zwanglos scheinende Einbindung in die Natur, auch bei Inkaufnahme höherer Baukosten.

1.2 Abgrenzung und Zielsetzung

Diese Arbeit berührt nur einen Teilaspekt des Brückenbaus und zwar die Entwicklung bis zum Bau von Brücken aus Spannbeton. Hierbei werden die beiden Grundbaustoffe Beton und Stahl im Altertum kurz und von 1935 an in möglichst allen Entwicklungsschritten betrachtet.

Wie im folgenden nachgewiesen, setzt die wissenschaftliche Anwendung von Spannbeton hauptsächlich zwei Dinge voraus:

- einen Beton mit hoher Druckfestigkeit und
- einen Stahl mit hoher Zugfestigkeit bei guter Dehnfähigkeit.

Zur technischen Durchführung bedurfte es besonderer Methoden, die mit ihren zahlreichen Entwicklungen genannt werden.

Es werden ausgeführte Spannbeton-Brücken in ihrer ersten Anwendung von jeweils neuen Baustoffen oder Bauverfahren vorgestellt.

Erwähnt wird auch die Entwicklung von Löhnen, Preisen, Straßenkilometern und Fahrzeugdichte in diesem Zeitrahmen.

Diese Arbeit endet mit der Zusammenstellung von Überwachungs- und Sanierungsverfahren für Spannbeton-Brückenbauwerke.

1.3 Untersuchungsmethoden

Dem Verfasser standen zur systematischen Verfolgung der einzelnen Entwicklungsschritte bei der Herstellung von Beton, Stahl, Spannbeton und nicht zuletzt der Spannbeton-Brücken Fachliteratur in Form von Kalendern, Zeitschriften und Tagungsberichten sowie Mitteilungen des Statistischen Bundesamtes zur Verfügung, beginnend mit dem Jahr 1932.

Die Darstellung in Entwicklungsschritten führte zur chronologischen Einteilung auch der einzelnen Baustoffe und Baumethoden, wobei dem Verfasser die persönliche einschlägige berufliche Erfahrung von 1941 bis 2001 hilfreich war.

2 Beton

2.1 Zement

2.1.1 Historische Angaben

Hydraulische Bindemittel verwendeten bereits die Römer im letzten Jahrhundert vor Chr. als sie Pfeiler mittels Senkkästen im Strom gründeten und dabei auf byzantinische Überlieferungen zurückkamen.

[359, S.18]

Zum Senkkastenverfahren schreibt Vitruv (zwischen 29 und 14 vor Chr.) in seinem lehrbuchartigen 10bändigen Werk u. a.:

„Schließlich wird der Grund mit einer Mischung von Bruchstein und einem hydraulisch bindenden Mörtel aus Kalk und Puzzolanerde betoniert.

[359, S. 28]

Im Betonkalender 1998, Teil I, Seite 1, heißt es hierzu:

„Bereits in der Antike haben z. B. die Phönizier und die Griechen, vor allem die Römer, mit dem Beton für die damalige Zeit außerordentlich bemerkenswerte Bauwerke erstellt. Unter einem betontechnologischen Blickwinkel unterscheiden sich die damals verwendeten Zemente von den heutigen vor allem dadurch, dass sie wesentlich langsamer erhärteten. In seinem Endstadium entspricht aber der Zementstein des Römerbetons weitgehend dem eines Zementsteins im Beton unserer Zeit. Die auch noch in Deutschland vorhandenen Bauteile und Bauwerke aus Römerbeton zeugen von den damaligen Einsatzmöglichkeiten und von der Dauerhaftigkeit dieses Baustoffes.

[106, S. 1]

Mörtel als Gemische aus geeigneten Naturstoffen wurden seit langem verwendet. Wahrscheinlich mischten als erste die Phönizier Kalk und Mehl von Ziegeln, die aus besonderem Schlamm geformt und gebrannt wurden, oder machten aus Kalk und vulkanische Asche wasserfest härtende Mörtel.

Im Mittelmeerraum bewahrte man die Kenntnisse um die Bereitung hydraulischer Mörtel aus vulkanischen Ablagerungen. Besonders die nach der Fundstelle Puzzoli in der Nähe Neapels genannte Puzzolanerde erwies sich als vorzüglicher Rohstoff

[359, S. 113]

2.1.2 Weiterentwicklung

Damit der Massivbau den vom Stahlbau im 18. und 19. Jahrhundert erzielten Vorsprung wieder einholen konnte, bedurfte es zu allererst eines rasch härtenden hydraulischen Bindemittels. Das Problem bestand hierbei nicht darin, einen Mörtel überhaupt zu finden, sondern ihn aus häufig vorkommenden Rohstoffen durch industrielles Verfahren massenhaft und in gleichmäßig guter Qualität bereitzustellen.

Den Begriff „Beton“ prägte der französische Ingenieur Bélidor für wassergebundene Grobmörtel in seinem Buch „Architecture hydraulique“, 1753.

Der Engländer James Paker erhielt im Jahre 1796 ein Patent auf ein aus Kalkmehl und reichlich Tonerde gebranntes Bindemittel. Bereits im Jahre 1816 verwendete man in Frankreich einen aus diesem Pulver hergestellten Beton für eine große Brücke.

Nach langwierigen Versuchen gelang dem Engländer Joseph Aspdin (1779 bis 1855) die Herstellung eines künstlichen hydraulischen Bindemittels für Beton durch Brennen einer Mischung aus Ton und gelöstem Kalkstein oder Straßenstaub. Wegen seiner dem in seiner Heimat beliebten Portlandzement ähnlichen Farbe nannte er diese Bindemittel „Portland-Zement“. Am 21. Oktober 1824 erhielt er hierauf ein Patent.

Auch in einigen anderen Gebieten Europas fand man geeignetes Material für den Mörtel, z. B. den Traß im Eifelgebirge. In Deutschland stellte ab 1853 ein kleiner Betrieb bei Stettin Portland-Zement her.

Wengleich zur Anwendung des neuen Materials erst Bedenken seitens der Ingenieure überwunden werden mussten, so gelang es doch infolge seiner zum Haustein viel geringeren Kosten allmählich im Brückenbau zum Einsatz. Anfangs verwendete man es in Form des Stampfbetons, womit ab 1860 in Frankreich und Spanien bereits Brücken mit Spannweiten bis 35 m entstanden.

[359, S. 113, 114]

Heute werden vor allem Portlandzemente (PZ) und Hochofenzemente (HOZ) - das sind Mischungen aus PZ und geeigneten Hochofenschlacken - eingesetzt.

Weiterhin gibt es noch eine Anzahl besonderer Zemente dem andere Stoffe wie z. B. Traß, Flugasche oder Ölschiefer zugesetzt werden. Zementähnliche Bindemittel wie hochhydraulischer Kalk oder auch Magnesia werden im Bauwesen ebenfalls für bestimmte Aufgaben eingesetzt, aber in Deutschland nicht zu den eigentlichen Zementen gezählt.

[358, S. 9]

Der Träger der Erhärtung dieses pulverförmigen Zements, das durch Brennen und Mahlen bestimmter kalk- und tonartiger Gesteine erzeugt wird, sind in erster Linie verschiedene Calciumsilikate, aus denen durch die Reaktion mit Wasser Calciumsilikathydrate entstehen.

[359, S. 9]

2.1.3 Entwicklung in Deutschland

1910 werden Handelszemente Z 225 verwendet, die nach 7 Tagen Wasserlagerung 12,0 und nach 28 Tagen 25,0 MN/m² Druckfestigkeit erbringen müssen.

1927 werden diese Anforderungen erhöht auf 18,0 bzw. 27,5, bei gemischter Lagerung nach 28 Tagen auf 35,0 MN/m². Außerdem wird ein hochwertiger Normzement Z 325 eingeführt mit den Druckfestigkeiten 25,0 MN/m² nach drei Tagen Wasserlagerung und 50,0 MN/m² nach 28 Tagen gemischter Lagerung.

1932 steht ein höherwertiger Normzement Z 425 zur Verfügung mit den Anforderungen 30,0 MN/m² nach 1 Tag Wasserlagerung, 50,0 nach 3 Tagen Wasserlagerung und 65,0 nach 28 Tagen gemischter Lagerung

[361 S. 511]

1944 werden nach ihrer chemischen Zusammensetzung unterschieden:

- Portlandzement
- Eisenportlandzement und
- Hochofenzement

Es gibt weiterhin die Festigkeitsklassen Z 225, Z 325 und Z 425, wobei lediglich für erdfeuchten Normenmörtel für den Z 225 die zu erbringenden Festigkeiten auf 20,0 MN/m² nach 7 Tagen Wasserlagerung bzw. 30,0 nach 28 Tagen und 40,0 nach 28 Tagen gemischter Lagerung erhöht wurden.

Neu eingeführt wird plastischer Normenmörtel gleicher Druckfestigkeit mit allerdings reduzierten Anforderungen an die Festigkeit nach 28 Tagen gemischter Lagerung, die der Nennfestigkeit entspricht; z. B. 425 kg/cm² für den Z 425.

Auch werden bereits Spezialzemente verwendet, wie

- Traßzement
- Mischbinder
- Tonerdezement
- Naturzement und
- „präparierte“ Zemente

[8 S. 202 bis 209]

1953 wird in der chemischen Zusammensetzung Titanoxyd und, anstatt Calciumsulfat und Calciumsulfid, nunmehr der Begriff Sulfat verwendet. Es wird darauf hingewiesen, dass all diese chemischen Bestandteile ausnahmslos säurelöslich sind und Beständigkeit gegenüber anorganischen oder organischen Säuren nicht zu erwarten ist, und auch sehr weiche Wässer wasser-schädliche säurelösliche Bestandteile enthalten können.

[9 S. 108,135]

1954 erfolgt eine Reduzierung der Anforderungen an die Druckfestigkeiten der Zemente gegenüber denen von 1932 von 27,5 MN/m² auf 22,5 nach 28 Tagen Wasserlagerung für den Z 225 und von 50,0 auf 30,0 nach 3 Tagen Wasserlagerung für den Z 425 bei gleichzeitiger Erhöhung der Anforderung an die Biegefestigkeit von z. B. 3,0 auf 6,0 MN/m² für den Z 325 nach 28 Tagen Wasserlagerung.

[361, S. 511]

1974 werden sechs Zementfestigkeiten unterschieden:
250, 350L, 350F, 450L, 450F, und 550.

Für die Druckfestigkeiten sind minimale und maximale Werte vorgegeben, wobei die minimalen Werte den Nennfestigkeiten in kp/cm² entsprechen. Die maximalen Werte liegen um 200 kp/cm² darüber.

Die Bezeichnung L steht für langsames Erhärten und F für die höhere Anfangsfestigkeit, speziell für frühzeitiges Vorspannen und Ausrüsten und Betonieren bei niedriger Temperatur.

[40 S. 5 bis 7]

1978 findet ab den 1. Januar das Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 02.07.1969 mit dem allgemeinen Gebrauch der neuen Basiseinheiten nach dem SJ-System Anwendung. Anstatt bisher mit 1kp = 1 kg x 9,80665 msec⁻² = 9,80665N wird nun mit 1kp=10N gerechnet und somit aus 250 kg/cm² 25 MN/m² (=N/mm²).

Die Festigkeiten sind nunmehr Z 25, Z 35L, Z 35F, Z 45L, Z 45F und Z 55.

[46 S.3]

[45 S III, 9]

1986 werden in DIN 1164 nach ihrer Zusammensetzung aus

- Portlandzementklinker
- Hüttensand bzw Ölschieferabbrand
- Traß bzw. Lava und
- Flugasche bzw. Phonolith bzw. Kalksteinmehl

zehn Zemente genannt:

- Portlandzement
- Eisenportlandzement
- Hochofenzement
- Traßzement
- Portlandzement HS
- Portlandzement NW
- Portlandzement NA
- Hochofenzement HS
- Hochofenzement NW und
- Hochofenzement NA

Zulassungen liegen vor für

- Ölschieferzement
- Flugaschezement

- Flugaschehüttenzement
- Phonolithzement
- Traß- Hochofenzement NW/HS
- Vulkanzement (Lavazement) und
- Portlandkalksteinzement

[66 S. 3 bis 7]

1995 soll die Euronorm ENV 197-1 DIN 1164 Teil 1, Ausgabe 03.90 ersetzen. Es sind zwölf CEM-Klassen vorgesehen, die im wesentlichen den Bezeichnungen von 1986 entsprechen mit den Festigkeitsklassen 32,5; 32,5R; 42,5; 42,5R; 52,5 und 52,5R.

Es wird weiterhin unterschieden in Zement mit üblicher Anfangserhärtung und schnell erhärtenden R-Zementen (R für rapid). Die Anforderungen an die Druckfestigkeiten entsprechen mindestens der Nennfestigkeit in N/mm^2 . Die oberen Grenzen liegen bei den Zementen 32,5 und 42,5 $20N/mm^2$ darüber. Das entspricht einer Reduzierung um $2,5N/mm^2$ im Alter von 28 Tagen gegenüber den Werten in DIN 1164 Teil 1 Ausgabe 03.90.

[93 S. 8 bis 15]

1997 werden für die Anwendungsbereiche

- Beton- und Stahlbeton
- hoher Widerstand gegen Sulfatangriff
- Alkalireaktionen
- hoher Widerstand gegen Frost- und Tausalzangriffe
- sehr starke Frost- und Tausalzwiderstände
- Spannbeton
- Einpressmörtel für Spannbeton
- Betonwaren
- Leichtbetonwände (haufwerkporiges Gefüge) und
- Leichtbeton und Stahlleichtbeton (geschlossenes Gefüge)

die hierfür jeweils anwendbaren Zemente angegeben.

[102 S. 11 bis 16]

2001 werden die für die Betonherstellung in Deutschland anwendbare Zemente in die Expositionsklassen XO bis XM3 nach EN 206-1 unterteilt für die Anwendungsbereiche

- kein Korrosions- oder Angriffsrisiko
- Korrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung
- Korrosion, verursacht durch Chloride bei Meerwasser oder kein Meerwasser
- Frostangriff ohne Taumittel, mit Taumittel und mit Taumittel bei hoher Wassersättigung
- chemischer Angriff schwach oder mäßig stark
- Verschleiß
- Spannbeton mit sofortigem und nachträglichem Verbund.

2.1.4 Neuere Spezialzemente

2003 wurden spezielle Zemente für besondere Betone verwendet:

- Zement ASTM Typ 2 für einen B 140 für das Hochhaus Two Union Square
[118 S. 202]
- Zement CEM I 42,5 R-HS für einen B85
[281 S. 201]
- Zement CEM I 52,5 R-HS für einen Ultra-Hochleistungsbeton (UH PC) mit
Druckfestigkeiten über 200 N/mm²
[261, S. 458]
- Zement CEM II/A-LL 42,5 R für selbstverdichtenden Beton (SVB)
[267 S. 691]
- Zement 375 H (TZ 2) für Faserbeton
[250 S. 362]

In Deutschland wurden die ersten Anwendungen von Hochleistungsbeton im Brückenbau mehr als zehn Jahre später als im Ausland (USA, Japan, Norwegen) realisiert.

[281 S. 201]

Die Weiterentwicklung sind Ultra-Hochleistungsbetone (UHPC = Ultra High Performance Concrete) bis hin zu sogenannten „Reaktive Powder Concrete“ dessen Druckfestigkeit bis 1000 N/mm² reichen soll.

[261 S. 458]

Auch für selbstverdichtenden Beton sind in Deutschland in der Neufassung der DIN 1045-1 keine speziellen Anwendungsregeln vorgesehen, so dass dessen Anwendung der Zustimmung im Einzelfall bedarf.

[267 S. 691]

2.1.5 Prüfmethode

1944 werden folgende Prüfungen der Zemente durchgeführt:

- Zur Zeit der Auslieferung durch das Werk darf der Glühverlust des Zementes höchstens 50% betragen.
- Die Prüfung auf Knollenbildung als Nachweis der trockenen und nicht zu langen Lagerung
- Nachweis der Mahlfeinheit am Sieb mit 4900 Maschen/cm²
- Prüfung der Raumbeständigkeit an Kuchen von 8 bis 10 cm Durchmesser nach Koch- und Kaltwasserversuchen
- Nachweis des Erstarrungsbeginns
- Prüfung der Zementfestigkeit an Druckwürfeln von 7 cm Kantenlänge bzw. Zugkörper in Achterform. Seit 1942 sind Prismen von 4 x 4 x 16 cm³ vorgeschrieben, die zunächst auf Biegefestigkeit und an den anfallenden Prismenhälften auf Druckfestigkeit geprüft werden.

[8, S. 202]

1970 werden neue Normenblätter DIN 1164 mit neuen Zementfestigkeiten eingeführt, die sich auf ein neues Prüfverfahren stützen.

Es wird unterschieden in Zemente mit langsamer Anfangserhärtung (L) und solche mit höherer Anfangsfestigkeit (F) wie auch in Zemente mit niedriger Hydrationswärme (NW) und hohem Sulfatwiderstand (HS).

Nicht genormte Sonderzemente sind die Quellzemente bei denen ein anfänglicher Quellprozeß das später einsetzende Schwinden überlagert.

Sulfathüttenzemente werden nicht mehr hergestellt.

[32. S. 2]

1974 ist nach DIN 1164 nachzuweisen, dass der Zement so fein gemahlen ist, das seine spezifische Oberfläche geprüft mit dem Luftdurchlässigkeitsverfahren nach DIN 1164 Blatt 4, im allgemeinen 2200 cm²/g und in Sonderfällen 2000 cm²/g nicht unterschreiten.

[40 S. 2]

1997 sind mit DIN 1164 Teil 1 neu für die CEM-Zemente Erstarrungsbeginn und

- ende nachzuweisen. Im Rahmen der Eigenüberwachung sind für die Güteüberwachung der Zemente DIN 1164 Teil 2 sowie die ergänzenden Richtlinien von September 1981 zu beachten.

[102 S. 7]

2.1.6 Regelwerk für Zement

1928 wird am 20. September die Anweisung für Mörtel und Beton (AMB) eingeführt.

[1 S. 11]

1932 gilt ab dem 8. Mai die Deutsche Norm für Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement (DIN 1164).

1942 erscheint im Juli eine Neufassung der DIN 1164, die

[8 S. 458]

1958 im Dezember abgelöst wird.

[30 S. 979]

1970 erfolgt im Juni mit der Benennung Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement eine neue Vorlage der DIN 1164, die

[35 S. 1084]

1978 im Dezember von der „Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von Zement“ abgelöst wird

[56 S. 449]

und bis 1986 (1. April) gültig ist.

[70. S. 310]

1990 wird im März das Prüfverfahren für Zement DIN EN 196 Teil 1,3 eingeführt.

[87 S. 3, 687]

1994 gilt ab Oktober DIN 1164: Zement Teil 1 (Anforderungen)

[103 S. 383]

und ab 1995 im Juni DIN 1164: Zement Teil 2 (Güteüberwachung)

[98 S. 774]

2.2 Zuschlagstoffe

1944 werden als geeignete Zuschlagstoffe genannt:

- lose Ablagerungen von Sand und Kies
- zerkleinerte Stoffe aus Natursteinen wie Quetsch- oder Reibsand, Splitt, Stein-schlag und Schotter
- zerkleinerte Stoffe aus künstlichen Stoffen wie Hochofenschlacken, Kesselschlacke und Ziegelbruch.

Als Schädliche Stoffe werden ausgelassen

- Lehm und Ton
- Humus und organische Stoffe
- Kohlen, besonders Braunkohlen
- grobblasige oder schaumige Stoffe in der Hochofenschlacke und
- Schwefelverbindungen.

Es werden Siebkurven für brauchbare und besonders gute Bereiche für jeweils Sand nach DIN 1045, Betonzuschläge nach DIN 1045 und Betonzuschläge nach AMB vorgegeben.

[8 S. 211]

1953 sind die natürlichen und künstlichen Zuschlagstoffe dem

- Schwerstbeton
- gewöhnlichen Beton (Schwerbeton) und
- Leichtbeton zugeordnet.

Die Korngrößen werden nach DIN 1045 § 5 unterteilt in

- Betonfeinsand
- Betongrobsand
- Betonfeinkies bzw. Betonsplitt und
- Betongrobkies bzw. Betonsteinschlag,

zu deren Bestimmung Siebe von 1, 7, 30 und 70 mm Verwendung finden.

[9 S. 110]

1971 enthalten DIN 1045 bzw. 4226 neue Bezeichnungen der Korngrößen

- Feinstsand
- Feinsand
- Grobsand
- Kies bzw. Splitt und
- Grobkies bzw. Schotter mit Sieben von 0,25, 1, 4, 31,5 und 63 mm Durchmesser.

Auch werden neue Sieblinien A - F vorgegeben.

[32 S. 4]

1974 stehen neue Sieblinien 1 bis 5 für Größtkorndurchmesser von 8, 16, 32 und 63 mm zur Verfügung.

[40 S. 13]

1986 werden gemäß DIN 4226 Teil 2 folgende Leichtzuschläge verwendet:

- Naturbims
- Schaumlava
- Hüttenbims
- Sinterbims
- Ziegelsplitt
- Blähton und Blähschiefer mit einer Kornrohddichte zwischen 0,4 und 1,9 kg/dm³.

Außerdem stehen zur Verfügung organische Leichtzuschläge wie

- Holzwolle
- Holzspäne
- Holzmehl und
- geschäumter Kunststoffzuschlag

mit 0,1 bis 1,0 kg/dm³ Kornrohddichte.

Als hochwärmedämmende anorganische Leichtzuschläge stehen bereit

- Kieselgur
- Blähsplitt
- Blähglimmer
- Schaumsand und Schaumkies bei einer

Korndichte von 0,1 bis 0,4 kg/dm³.

[66 S. 64]

1988 wird der Betonzuschlag nach alkaliempfindlichen Bestandteilen beurteilt, wobei

- E I als unbedenklich,
- E II bedingt brauchbar und
- E III als bedenklich gelten.

Bezogen auf Feuchtigkeitsklassen sind vorbeugende Maßnahmen gegen Alkalireaktionen im Beton erforderlich für WF (feucht) und WA (feucht+Alkalizufuhr von außen).

[72 S. 14]

1995 wird darauf hingewiesen, dass Betonzuschläge mit alkalilöslicher Kieselsäure in feuchter Umgebung mit den Alkalien im Beton reagieren können. Als alkaliempfindlich gelten Gesteine, die amorphe oder feinkristalline Kieselsäure enthalten, z. B. Opal, Chalcedon und bestimmte Flinte im Norden und Osten Deutschlands.

[93 S. 22]

1998 werden für B 45 / B 85

- Sand 0 - 2 mm
- Zuschlag 2 - 8 mm und
- Zuschlag 8 - 16 mm getrennt zugewogen.

[244 S. 118]

Für einen hochfesten Beton (B65 bis B115) ist die Sandmenge fortlaufend zu messen. Die Messung ist am Betoniertag vor Betonierbeginn durch Darren zu kontrollieren: Die Kornzusammensetzung der einzelnen Korngruppen ist einmal am Betoniertag zu bestimmen.

[109 S. 135]

Zum Bau des SI-Hotels in Stuttgart wurden für den B 85

- Rheinmaterial 0/2 mm und
- Moränematerial 2/8 und 8/16 mm verwendet.

[249 S. 59]

2001 gelangte für einen Ultra-Hochleistungsbeton (UHPC) Sand 0,125/0,50 zum Einsatz.

[261 S. 458]

2003 muss bei der Herstellung eines selbstverdichtenden Betons die Sieblinie des Zuschlags bei der Maschenwerte 0,125 mm mit $\pm 1,0$ M - % und bei den Maschenwerten 0,25 mm und 1,0 mm mit $\pm 2,0$ M - % des Gesamtzuschlages eingehalten werden.

Rezyklierter Zuschlag darf hierbei nicht verwendet werden und das Größtkorn des Zuschlages mit $8 \text{ mm} \leq D \leq 16 \text{ mm}$ hat der Bedingung $D \leq d_s$ mit d_s als Abstand der Bewehrungsstäbe zu entsprechen.

Die Forderung nach einem möglichst grobkörnigen Zuschlagsgemisch entfällt.

[292 S. 316,328]

2.3 Anmachwasser

2.3.1 Allgemeine Angaben

Eugen Dyckerhoff definierte Stampfbeton folgendermaßen:

„Unter Stampfbeton versteht man einen Beton mit einer Mischung von Portlandzement ggf. unter Zusatz von etwas hydraulischem oder Fettkalk mit Kiessand, Kiessteinen oder Steinschlag, welcher im erdfeuchten Zustand zubereitet und in dünnen Lagen in Formen oder zwischen Schalungen eingebracht und solange mit schweren Stampfern behandelt wird, bis die Masse dicht bzw. geschlossen ist und sich Wasser an der Oberfläche zeigt.“

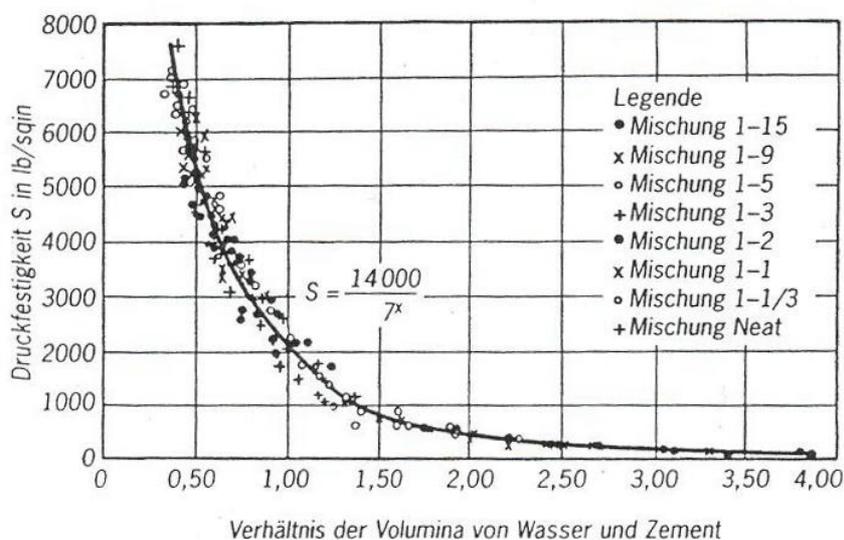
Die Bedeutung des Wassergehaltes des Frischbetons für die mechanischen Eigenschaften des erhärteten Betons war zunächst nur indirekt aus den Erfahrungen des Lehmbaus bekannt, obwohl schon 1897 René Feret über den Einfluss der Dichte und des Wassergehaltes von Mörteln auf deren Druckfestigkeit berichtet hatte. Die „Vorläufigen Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauten“, die im Jahre 1904 vom Verband deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine und dem Deutschen Beton-Verein herausgegeben wurden, enthalten bezüglich der Betonzusammensetzung lediglich die Forderung nach einem Mischungsverhältnis PZ: Sand (:Kies) = 1 : 3 (:3).

In seiner Arbeit „Design of Concrete Mixtures“ behandelt Abrams auf der Grundlage von mehr als 5000 Versuchen den Kornaufbau der Betonzuschläge, die Konsistenz des Frischbetons sowie den Gehalt des Frischbetons an Wasser, Zement, Sand und Kies und den Einfluss dieser Parameter auf die zu erwartende Druckfestigkeit des Betons.

Von besonderer Bedeutung ist seine Erkenntnis, dass der wichtigste Parameter in der Betontechnologie der Wasserzementwert, also das Gewichts- oder Volumenverhältnis von Wasser zu Zement ist.

Er zeigt ferner, dass im Vergleich zur Bedeutung des Wasserzementwerts der Zementgehalt des Betons nur eine untergeordnete Rolle spielt, solange der Frischbeton ausreichend verarbeitbar ist.

[245 S. 359]



2.3.2 Von 1943 bis 2003

1943 sind nach den Stahlbetonbestimmungen (DIN 1045) §5, Ziff. 5, als Anmachwasser alle in der Natur vorkommender Wässer geeignet, soweit sie nicht stark verunreinigt sind. Tonerdezement darf nicht mit salzhaltigem Wasser angemacht werden. Bei der Beurteilung von Wässern muss streng unterschieden werden zwischen solchen, die als Anmachwasser vorgesehen sind, und solchen die später auf den erhärteten Beton, z. B. als Grundwasser einwirken können. Viele Wässer die dem erhärteten Beton schädlich werden können, sind als Anmachwasser unbedenklich verwendbar. Entgegen früheren Ansichten sind Moorwasser, kohlenensäurehaltige Wässer, die erhärteten Beton bei dauernder Einwirkung angreifen können, als Anmachwasser verwendbar. Auch nicht zu salzhaltiges Wasser kann bei gewöhnlichen Normenzementen verwendet werden, nicht aber bei Tonerdezement, da dieser Abbindestörungen erleiden kann. Bei systematischen Versuchen des Auslandes haben auch Abwässer von sehr fragwürdigen Aussehen und Geruch, als Anmachwasser verwendet, keine Schädigungen des Beton verursacht. Dies darf indessen nicht Anlass zur Unvorsichtigkeit geben.

Grundsätzlich auszuschließen sind öl- und fetthaltige, sowie zuckerhaltige Wässer. Diese können -namentlich das Zuckerwasser- zu Abbindestörungen Anlass geben.

Anmachwasser mit mehr als 1 v. H. SO_3 und mit mehr als 3 v. H. Kochsalz führen zu mehr oder weniger deutlichen Beeinträchtigungen der Betonfestigkeit, weshalb dort Vorsicht geboten ist.

Aus der chemischen Analyse des Wassers allein ist wegen des unterschiedlichen Verhaltens der verschiedenen Bindemittel eine einwandfreie Beurteilung nicht möglich; es muss eine Eignungsprüfung am Beton nach DIN 1048 durchgeführt werden. Neben Festigkeitsbeeinträchtigungen besteht auch die Gefahr des Auftretens von Ausblühungen. Bei verdächtigen Wässern ist eine Untersuchung durch eine Materialprüfungsanstalt, die entsprechende Erfahrungen bezüglich des chemischen Verhaltens der Bindemittel besitzt, zu empfehlen.

[8 S. 218]

1953 wird noch einmal betont, dass der nachdrücklichste und wirksamste Einflussfaktor auf die Festigkeit des Betons die Höhe des Wasserzusatzes, oder genauer ausgedrückt, die Höhe des Wasserzementverhältnisses W/Z nach Gewicht ist.

Die Höhe des Wasserzusatzes W ist bestimmt durch die jeweils geforderte Betonsteife.

Der Bemessung des Wasserzusatzes bei der Betonbereitung ist die gleiche Sorgfalt zu widmen wie der genauen Abmessung des Zementzusatzes.

1974 wird auch die Oberflächenfeuchtigkeit des Zuschlages bei der Wassergabe berücksichtigt. An der Mischmaschine ist die abzumessende Wassermenge mit 3 Gew. - % einzuhalten.

In Sonderfällen kann auch Wasser anderen Ursprungs zur Anmachwassermenge beitragen, wie z. B. das Wasser von Kunststoffdispersionen und das Kondenswasser beim Dampfmischen.

Als Zugabewasser sind die meisten in der Natur vorkommenden Wässer geeignet, wie z. B. Regenwasser, Grundwasser, Moorwasser, nicht durch Industrieabwässer verunreinigtes Flußwasser. Häufig gilt das auch für natürliche Wässer die nach DIN 4030 als betonangreifend für erhärteten Beton gelten.

Wasser mit hohem Gehalt an korrosionsfördernden Bestandteilen, wie z. B. mit hohem Chloridgehalt kann als Anmachwasser für unbewehrten Beton zwar noch geeignet sein. Für bewehrten Beton aber nicht, wenn dadurch der Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton beeinträchtigt wird.

Für Spannbeton und für Einpressmörtel darf der Chloridgehalt des Zugabewassers 600 bzw. 300 mg/Liter nicht überschreiten.

Nicht geeignet als Zugabewasser für Beton sind auch stark verunreinigte Wässer, die das Erhärten oder bestimmte Eigenschaften des erhärteten Betons ungünstig beeinflussen wie z. B. öl-, fett- und zuckerhaltige Wässer. Humushaltige Wässer können sich bereits in geringen Mengen nachteilig auf das Erstarren und Erhärten des Betons auswirken. Festigkeitsbeeinträchtigungen können auch durch Zugabewasser verursacht sein, das größere Mengen an Algen enthält oder mit Ton stark verunreinigt ist.

[40 S. 15]

1995 wird darauf hingewiesen, dass aus Gründen des Umweltschutzes Brauchwassers, das in Transportbauwerken, z. B. beim Reinigen stationärer oder der Fahrzeugmischtrommeln anfällt, wegen des hohen PH-Wertes des Brauchwassers nicht oder nur in beschränktem Umfang dem Abwasser zugeführt werden.

Diese sogenannten Restwässer können bei Einhaltung bestimmter Randbedingungen zur Betonherstellung verwendet werden, wenn sie nach dem Merkblatt des Deutschen Betonvereins von Januar 1982 als brauchbar eingestuft sind; ausgenommen für Beton mit Luftporenbildner.

[207], [360]

Im Restwasser enthaltene Feststoffe müssen homogen verteilt sein, bzw. abgetrennt werden. Sie sind bei der Bestimmung des Mehlkorngehaltes der Betonmischung zu berücksichtigen.

Um zu verhindern, dass Restwasser Komponenten enthält, die z. B. aus Zusatzmitteln im Restbeton oder Restmörtel stammen und für die Bewehrung und insbesondere für den Spannstahl korrosionsfördernd sein können, wird gefordert, dass alle im Restbeton oder -mörtel enthaltenen Zusatzmittel die elektrochemische Prüfung nach der Richtlinie für die Zuteilung von Prüfzeichen der Betonzusatzmittel bestanden haben müssen.

[362]

Mit Fett oder Öl verunreinigte Waschwässer sind gesondert aufzubereiten.

Das CEN, TC 104 hat den Entwurf einer europäischen Norm pr EN 1008 erarbeitet, die in ihren Regelungen den deutschen Normen weitgehend entspricht. Sie enthält in einem Anhang auch Anforderungen an Restwasser.

[93 S. 34], [360]

1998 wird Mikrosilika als Füllstoff zugegeben, so dass bei Wasserzementwerten um 0,3 bereits ein geschmeidiger Frischbeton entsteht, der auch bei Ausbreitma-

ßen am oberen Ende des Konsistenzbereiches KF nicht mehr zum Entmischen neigt und den Einbau mit Betonpumpen und das Verdichten erleichtert.

[244 S. 117]

1999 darf für hochfesten Beton Restwasser nicht verwendet werden.

[291 S. 133]

Obwohl Zement zur vollständigen Hydratation etwa 0,38 bis 0,40 Gewichtsteile Wasser benötigt, kann die Festigkeit des Zementleims mit einer Absenkung des W/Z-Wertes unter diesen Betrag gesteigert werden.

Nach den heutigen Erkenntnissen hydratisiert bei diesem niedrigen Wassergehalt das einzelne Zementkorn selbst bei günstigen Bedingungen nicht mehr vollständig durch, sondern es verbleibt jeweils ein unhydratischer Zementkornrest, eingebunden in das sogenannte Zementgel, bestehen.

Der schwächste Bereich im Betongefüge ist die Kontaktzone, die sich um jedes Zuschlagpartikel schon kurz nach dem Mischen des Betons infolge der Anlagerung eines Wasserfilms bildet. Der Wasserfilm in einer natürlichen Dicke von etwa 10 μm kann zum einen in seiner Dicke durch die Wirkung eines Wasserentspannungsmittels reduziert werden, zum anderen kann die verbleibende Kontaktzone durch die Reaktion des dort in großer Menge angelagerten Calciumhydroxids $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mit einem puzzolanischen Stoff zu Calciumsilikathydraten KSH in ein dichtes festes Gefüge übergeführt werden.

Die Absenkung des W/Z-Wertes unter 0,4 auf Werte um 0,31 z. B. für B 85 hat eine sehr steife Konsistenz des Betons zur Folge, so dass der Beton nicht mehr mit üblichen Mitteln verdichtbar ist. Dem wird entgegen gewirkt durch eine deutliche Erhöhung des Zementleims und damit des Zementgehalts und durch die Zugabe hoher Mengen an hochwirksamen verflüssigenden Zusatzmitteln (FM). Das FM bewirkt gleichzeitig infolge seiner teilweisen tensidischen Wirkung eine Reduzierung der Dicke des Wasserfilms um die Zuschlagkörner und erleichtert so die Beseitigung der porösen, festigkeitsarmen Kontaktzone.

[249 S. 58]

Im Versuchsprogramm für einen Stahlfaserbeton wurde ein Wasser/Zement- Wert von 0,45 eingehalten. Es ist das Ausbreitmaß durch die Faserzugabe stark verringert worden. Die Konsistenz des Faserbetons lag im plastischen Bereich (K3), jene des Nullbetons im weichen Bereich (K4)

[250 S. 362]

2001 wurde für einen Ultra-Hochfesten Beton der Wasser-Bindemittelwert auf rund 0,20 reduziert und der Feststoffgehalt der Matrix durch innere oder reaktive mehlfine Zusatzstoffe erhöht.

Wie bei Hochleistungsbetonen kann dem ausgeprägt spröden Bruchverhalten solcher Betone durch eine ausreichende Menge geeigneter Drahtfasern entgegengewirkt werden. Die Konsistenz des Bindemittelleims wurde mit einem Fließmittel auf Polycarboxylatetherbasis eingestellt, das bei vergleichenden Versuchen am wirksamsten verflüssigte und das Erstarren des Betons am wenigsten verzögerte.

[261 S. 458]

Für einen selbstverdichtenden Beton wurde ein Wasser/Zement-Wert von 0,55 gewählt.

[273 S. 225]

Für einen Hochleistungsbeton B 85 waren als Zugabewasser 100 kg/m³ Beton vorgesehen, was einem Wasser/Zement-Wert von 0,36 ergab.

[275 S. 305]

Bei einem selbstverdichtenden Beton ergab sich ein starker nicht linearer Anstieg der Schergrenze τ_o , mit abnehmenden Wassergehalt. Es ist damit zu erklären, dass die einzelnen Puderpartikel einen „Mindestwasserbedarf“ besitzen, der ausschließlich zur Benetzung ihrer Oberfläche dient und nicht zum Fließvermögen des Leims beiträgt. Erst bei Wassergehalten größer als der „Mindestwasserbedarf“ können sich die einzelnen Mehlkornpartikel mehr oder weniger leicht gegeneinander verschieben. Der Vw/Vp-Bereich zwischen 0,71 und 0,74 stellt für die hier untersuchten Betonausgangsstoffe ein Optimum dar.

[276 S. 327]

2003 wird für einen B 75 die Mischungszusammensetzung so gewählt dass bei einer Variation des Zugabewassers von ± 10 Liter je m³ die wesentlichen Anforderungen, wie Endfestigkeit, Dauerhaftigkeit (z. B. Frost- Tonsalz widerstand und Pumpbarkeit bei einer bis zu 150 m langen Pumpleitung) noch sicher erreicht werden. Damit wird eine gewisse „Unempfindlichkeit“ des Betons bezüglich des Wassergehaltes erreicht.

[281 S. 204]

Für B II-Baustellen darf gemäß „DAfStb-Richtlinie für die Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser, Restbeton und Restmörtel (1995)“ Restwasser nur verwendet werden, wenn der Feststoffgehalt im Restwasser bekannt ist und bei der Einwaage kontinuierlich berücksichtigt wird.

[364 S. 317]

2.4 Zusatzmittel

1944 werden Traß und basische Hochofenschlacke gelegentlich als hydraulische Zusätze verwendet.

Beide Stoffe enthalten durch plötzliche Abkühlung aus dem glutflüssigen Zustand aufgeschlossene, d. h. reaktionsfreie Kieselsäure und sind daher im Stande, nichthydraulische Stoffe, wie Weißkalk oder dem im Zement vorkommenden freien Kalk hydraulisch zu machen:

Sie werden wegen dieser Erregereigenschaften als Hydraulite bezeichnet.

Der Zusatz von Traß macht den Beton geschmeidiger und dämpft die Abbindewärme. Allerdings führt er zu einer durchschnittlichen Erhöhung des Chloridmaßes des Betons und zu einer Verlangsamung des Erhärtungsfortschrittes.

Als basische Hochofenschlacke gelangt Thurament zur Anwendung als Zusatzmittel. Es macht den Beton weniger geschmeidig als Traß, greift dafür aber energischer in den Abbindeprozeß ein und bedingt dadurch ein längeres Feuchthalten des frischen Betons.

[8 S. 210]

1953 gelangen luftporenbildende Zusätze, sogenannte Betonverflüssiger zum Einsatz. Sie verbessern die Verarbeitbarkeit des Betons und zum Teil auch die Betonfestigkeit und die Frost- und Wetterbeständigkeit.

Zur Erhöhung der Wasserundurchlässigkeit werden Ceresit, Sika, Tricosal, Trosil und Bitumenemulsion den Mischungen zugegeben, die den Porencharakter des Betons beeinflussen.

Die Erstarrungszeiten werden verlangsamt durch Borax, Kupferchlorid, Kupfersulfat und beschleunigt durch Chlorkalzium, Soda, Eisenvitriol, Aquatox-Rapid, Biber F, Ceresit-Schnell, Lugato VI, Sika 2 und 3 und Tricosal SZ.

Andere Mittel wirken bei höheren Zusatzmengen beschleunigend und bei geringeren verlangsamernd, wie Kalziumsulfat, Natriumchlorid und Natriumsulfat.

Als Frostschutzmittel werden Salze zugegeben, die jedoch stahlkorrosierend wirken und besser durch physikalische Hilfsmittel wie Vorwärmer des Anmachwassers oder Anwendung von Wärmedämmmitteln ersetzt werden sollten.

Als färbende Mittel kommen Metalloxyde in Frage, die keine Ausblühungen verursachen und den Zement nicht zum Treiben bringen. Solche brauchbaren Mittel sind: Eisenoxydschwarz, Eisenoxydrot, Eisenoxydgelb, Manganschwarz und Chromoxydgrün.

[9 S. 116]

1971 wird darauf hingewiesen, dass soweit noch in Anwendung, bei Sulfathüttenzement Zusatzstoffe zu vermeiden sind.

Zu Betonzusatzmitteln gehören:

- Betonverflüssiger (BV)
- luftporenbildende Verflüssiger (LPV)

- luftporenbildende Betonzusatzmittel (LP)
- Betonverdichtungsmittel (DM)
- Erhärtungsverzögerer (VZ)
- Erstarrungsbeschleuniger (BE)
- Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannkanäle (EH)

Zu den Betonzusatzstoffen gehören auch Flugaschen, die bauaufsichtlich zugelassen sein müssen, da mit ihnen auch negative Erfahrungen gemacht wurden.

Das gilt auch für organische Betonzusatzstoffe , wie z. B. solche auf Kunstharzbasis.
[32 S. 7]

1995 werden puzzolanische Stoffe mit hohen Anteilen an Kieselsäure und Tonerde verwendet, die gut mit Wasser und Calciumhydroxid reagieren und geeignet sind als Reaktionspartner bei der Hydratation des Portlandzements, jedoch mit wesentlich langsamerer Reaktionsgeschwindigkeit. Sie bedürfen einer guten Nachbehandlung, damit im höheren Alter die puzzolanischen Zusatzstoffe wirksam werden.

Die in Deutschland gebräuchlichen Puzzolane , die als Betonzusatzstoffe Einsatz finden, sind

- natürlicher Traß nach DIN 51043 sowie
- Steinkohlenflugasche (FA)
- silikatische Feinstäube (SF) und
- getempertes Gesteinsmaterial (GG)

Der bei Einhaltung der in den Zulassungen vorgegebenen Randbedingungen günstige Einfluss von Steinkohlenflugasche auf die Dauerhaftigkeit von Beton ist u. a. darauf zurückzuführen, dass der teilweise Ersatz von Zement durch Flugasche zu einer Verbesserung der Porenstruktur des Zementsteins führt.

Für Spannbeton mit sofortigem Verbund nach DIN 4227 Teil 1, sowie für die Einpressmörtel nach DIN 4227 Teil 5 ist die Verwendung von Flugasche als Betonzusatzstoff nicht zulässig.

Latent hydraulische Stoffe sind in ihrer chemischen Zusammensetzung Zemente ähnlicher als puzzolanische Stoffe. Sie reagieren mit Wasser in Anwesenheit eines Anregers, z. B. Calciumhydroxid, ohne mit diesen selbst zu reagieren.

Der wichtigste hydraulische Zusatzstoff im Betonbau ist Hüttensand, der bei einem schnellen Abkühlen einer basischen Hochofenschlacke entsteht. In Deutschland darf er jedoch nur als Zuschlagstoff bei der Herstellung von Hochofenzementen eingesetzt werden.

[93 S. 28]

1999 wurde in ersten Grundversuchen beispielhaft an hochfestem Beton untersucht, wie sich unterschiedliche Mengen von Steinkohlenflugasche als Ersatz des Zements auf die Festigkeitseigenschaften, die Erstarrungstemperatur und das Mikrogefüge von hochfestem Beton auswirken.