

Entwicklung der internationalen betontechnologischen Bestimmungen

Von Helmut Weigler, Darmstadt *)

Übersicht

In der Abhandlung werden zunächst die verschiedenen internationalen Organisationen, die sich mit der Ausarbeitung von Empfehlungen, Richtlinien und Bestimmungen auf dem Gebiete der Betontechnologie befassen, vorgestellt und ihre wesentlichen Ziele genannt.

Nach einem Überblick über den Stand der ISO-Normung und der RILEM-Empfehlungen folgt eine Besprechung der in der „CEB/FIP Mustervorschrift“ (Model Code) und ihren Anhängen enthaltenen betontechnologischen Bestimmungen. Dabei werden auch die wesentlichen Abweichungen von den entsprechenden DIN-Normen aufgezeigt und beurteilt.

1. Einleitung

Die Angleichung und Vereinheitlichung der technischen Baubestimmungen wird von verschiedenen Organisationen und auf verschiedenen Ebenen betrieben. Dabei ist zunächst zwischen internationalen technisch-wissenschaftlichen Fachvereinigungen und zwischen internationalen Normenorganisationen zu unterscheiden. Bei den Fachvereinigungen sind im Blick auf die hier behandelte Betontechnologie CEB, FIP, ERMCO und RILEM zu nennen, bei den Normenorganisationen ISO und CEN ¹⁾.

Die Arbeit der Fachvereinigungen dient primär dem gegenseitigen Gedanken- und Erfahrungsaustausch. Sie findet ihren Niederschlag

*) Siehe auch Vortrag von M. Stiller: Entwicklung der internationalen Betonbestimmungen; gehalten am 13. September 1978 auf der Technisch-wissenschaftlichen Zementtagung des Vereins Deutscher Zementwerke in München.

¹⁾ CEB: Comité Euro-international du Béton
FIP: Fédération Internationale de la Précontrainte
ERMCO: European Ready Mixed Concrete Organisation
RILEM: Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions
ISO: International Organization for Standardization
CEN: Comité Européen du Normalisation

in Berichten über den Stand der Kenntnisse und in daraus hergeleiteten Richtlinien. Diese haben nur empfehlenden Charakter, erleichtern aber die internationale Zusammenarbeit und bilden vielfach die Grundlage für internationale Vereinbarungen.

Demgegenüber sind ISO und CEN reine Normungsinstitute. Mitglieder sind die entsprechenden nationalen Einrichtungen. Ihrer Arbeit kommt im Hinblick auf früher oder später zu erwartende politisch motivierte europäische Regelungen eine besondere Bedeutung zu. Solche Regeln, die von der Kommission der EG unter den Stichworten „Abbau von Handelshemmnissen“ und „Harmonisierung der Baubestimmungen“ in Aussicht genommen sind, werden, soweit möglich, zunächst auf internationale Normen und in zweiter Linie auf Ausarbeitungen internationaler Fachvereinigungen zurückgreifen. Es ist daher als erstes die ISO-Arbeit zu besprechen, da CEN bis jetzt, mit Ausnahme erster Ansätze zur Zementnormung, auf dem Gebiet des Bauwesens noch nicht tätig ist.

2. ISO-Normung

2.1 Allgemeines

ISO ist ein weltweiter Zusammenschluß nationaler Normen-Organisationen. Die Bundesrepublik Deutschland einschließlich West-Berlin ist dort durch das DIN vertreten. Für jedes ISO-Normungsgremium besteht beim DIN ein „Spiegelausschuß“ zur Beratung der deutschen Stellungnahmen.

Die ISO-Normen werden in Technischen Committees (TC) erarbeitet. Für die Betonbauweise geschieht dies im TC 71 mit den Subcommittees SC 1 (Prüfverfahren), SC 2 (Bemessung) und SC 3 (Herstellung und Überwachung). Die Veröffentlichung erfolgt nach Abschluß der technischen Beratungen als Entwurf ISO/DIS (Draft International Standard, z. B. ISO/DIS 6274) und nach Zustimmung der Mitgliedsstaaten als Internationale Norm (z. B. ISO 1920-1976). Die fachliche Arbeit ist mit der Überführung eines Diskussionspapiers (Dokumentes) in einen Norm-Entwurf (DIS) abgeschlossen. Nur im Falle eines mehrheitlichen negativen Votums der Mitglieder des Technischen Committees (TC) wird der Norm-Entwurf nochmals zur Beratung an das jeweilige Subcommittee (SC) zurückverwiesen. Für die Verabschiedung einer ISO-Norm ist die Zustimmung von 75 % der abstimmenden Mitgliedskörperschaften erforderlich.

Bei der inhaltlichen Würdigung von ISO-Normen ist zu bedenken, daß diese den unterschiedlichen Verhältnissen in fünf Erdteilen Rechnung tragen müssen. Sie stellen deshalb immer Kompromißlösungen dar, oder sie sind als Rahmenrichtlinien abgefaßt, die durch ergänzende nationale Regeln ausgefüllt werden können.

2.2 Stand der ISO-Normung

Ausgangsstoffe

Es liegen bis jetzt die in Tafel 1 genannten Normenentwürfe vor. ISO/DIS 4847 behandelt die *Probenentnahme von Normalzuschlägen*. Die Methoden der Probenteilung entsprechen weitgehend den Festlegungen in DIN 4226 Teil 3.

Tafel 1 ISO-Normen²⁾ für die Prüfung der Ausgangsstoffe

ISO/DIS 4847	Probenahme bei Normalzuschlägen (1978)
ISO/DIS 6274	Siebanalyse von Betonzuschlag (1978)

Für die *Siebanalyse der Zuschläge* bereitet die Festlegung einer international einheitlichen Prüfsiebreihe große Schwierigkeiten. Dies ist u. a. auch durch die unterschiedliche Kornform und -zusammensetzung der in den einzelnen Ländern verfügbaren Zuschläge bedingt. ISO/DIS 6274 sieht deshalb drei Prüfsiebereien mit quadratischen Sieböffnungen vor. Empfohlen wird die Verwendung der Reihe A von 0,063 bis 63 mm, wobei jeweils die nächstgrößere Maschenweite eine Verdoppelung der vorhergehenden darstellt. Damit entspricht die Reihe A den Festlegungen in DIN 4226 Teil 3.

Frischbeton

Auch hier bestehen bis jetzt nur Normenentwürfe. Sie sind in Tafel 2 zusammengestellt.

Tafel 2 ISO-Normen für die Prüfung und Beurteilung des Frischbetons

ISO/DIS 4848	Ermittlung des Luftporengehaltes nach dem Druckausgleichverfahren
ISO/DIS 4103	Einteilung der Betonkonsistenz (1977)
ISO/DIS 4109	Ermittlung der Betonkonsistenz – Trichter-versuch (Slump test) (1977)
ISO/DIS 4110	Ermittlung der Betonkonsistenz – Setzzeit-versuch (Vebe test) (1977)
ISO/DIS 4111	Ermittlung der Betonkonsistenz – Verdich-tungsversuch (1977)

ISO/DIS 4103 legt *Konsistenzklassen* für den Frischbeton fest. Vorgesehen sind fünf Klassen V 0 bis V 4 bei Anwendung des Setzzeitversuchs (VEBE-Konsistometer) und vier Klassen S 1 bis S 4 bei Anwendung des Trichterversuchs (Slumptest). Es ist möglich, die Konsistenz auch nach anderen Verfahren zu beurteilen, z. B. mit Hilfe des Verdichtungsmaßes entsprechend DIN 1048 Teil 1, Abschn. 3.1.1. Dafür sind 4 Klassen C 0 bis C 3 vorgesehen. Die Klassen C 1, C 2 und C 3 entsprechen den Konsistenzbereichen K 1, K 2 und K 3 nach DIN 1045, Tabelle 2. Die Klasse C 0 gilt für sehr steifen Beton mit einem Verdichtungsmaß $\geq 1,46$. Eine gegenseitige Zuordnung der nach verschiedenen Prüfverfahren festgelegten Klassen wird nicht angegeben.

Die *Prüfverfahren* zur Bestimmung der *Konsistenz* gemäß ISO/DIS 4111 (Verdichtungsmaß) und des *Luftporengehaltes* gem. ISO/DIS 4848 (Druckausgleichverfahren) entsprechen DIN 1048 Teil 1.

²⁾ Dokumente mit dem Zusatz DIS sind Normenentwürfe (Draft International Standard)

Festbeton

Für die Herstellung von Betonproben und die Prüfung des Festbetons wurden die in Tafel 3 angegebenen Normen und Normenentwürfe erarbeitet.

Tafel 3 ISO-Normen für die Prüfung und Beurteilung von Festbeton

ISO 1920-1976	Maße, Toleranzen und Anwendbarkeit von Probekörpern
ISO/DIS 2736.2	Entnahme, Herstellung und Nachbehandlung von Betonproben (1976)
ISO 3893-1977	Klassifizierung des Betons nach der Druckfestigkeit (Festigkeitsklassen)
ISO/DIS 4012	Bestimmung der Druckfestigkeit (1976)
ISO/DIS 4013	Bestimmung der Biegezugfestigkeit (1976)
ISO/DIS 4108	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit (1977)
ISO/DIS 4846	Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes (1978)

Die Einteilung in *Betonfestigkeitsklassen* gemäß ISO 3893-1977 erfolgt nach der charakteristischen Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen. Diese ist definiert als die untere 5 %-Fraktile der Grundgesamtheit aller möglichen Festigkeitsbestimmungen. Die Annahmewahrscheinlichkeit soll zwischen 50 und 95 % gewählt werden. Der Klassenbenennung ist die charakteristische Druckfestigkeit von Zylindern mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Höhe (1. Zahl) bzw. von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge (2. Zahl) zugrunde gelegt. Die Festigkeitsklassen liegen in dichter Folge (Abstand $\leq 5 \text{ N/mm}^2$) zwischen C 2/2,5 und C 50/55. In diese Reihe lassen sich auch die Festigkeitsklassen nach DIN 1045 und DIN 4219 einordnen. Mit dem Übergang auf den 15 cm-Würfel unter Beibehaltung des Zahlenwertes für die charakteristische Festigkeit büßt man jedoch durchschnittlich etwa 5 % an Festigkeit ein, weil bei gesondert hergestellten Proben die Druckfestigkeit der 15 cm-Würfel im Mittel rd. 5 % höher ist als die Druckfestigkeit von 20 cm-Würfeln.

Die Festlegungen für die *Entnahme von Frischbetonproben* auf der Baustelle und die *Herstellung sowie Nachbehandlung von Probekörpern* für die Erhärtungs- und die Güteprüfung stimmen weitgehend mit den entsprechenden Festlegungen in DIN 1048 Teil 1 überein. Der einzige wesentliche Unterschied besteht darin, daß ISO/DIS 2736.2 für die Probekörper der Güteprüfung generell eine Wasser- oder Feuchtlagerung bei mindestens 90 % rel. F. vorschreibt. Dabei erhält man für den gleichen Beton eine etwas geringere Druckfestigkeit als bei Prüfung lufttrockener Proben. Dieser Einfluß wirkt dem zuvor genannten Einfluß der geringeren Probekörpergröße entgegen.

Als Probekörper sieht ISO 1920-1976 Würfel, Zylinder und Prismen vor. Allgemein soll das Grundmaß d , wie auch in DIN 1048 Teil 1 ge-

fordert, mindestens das Vierfache des Größtkorndurchmessers des verwendeten Zuschlags betragen. Würfel sollen eine Kantenlänge von $d = 100, 150, 200, 250$ oder 300 mm, vorzugsweise von 150 mm, haben. Sie können für die Ermittlung der Druck- und der Spaltzugfestigkeit verwendet werden. Zylinder sollen einen Durchmesser von $d = 100, 150, 200, 250$ oder 300 mm, vorzugsweise von 150 mm, und eine Höhe von $h = 2 d$ haben. Sie können für die Ermittlung der Druck-, der Zug- und der Spaltzugfestigkeit sowie der Verformungskennwerte verwendet werden. Prismen mit quadratischem Querschnitt sollen eine Kantenlänge von $d = 100, 150, 200, 250$ oder 300 mm, vorzugsweise von 150 mm, und eine Länge von $4 d$ oder $5 d$ haben. Sie sind in erster Linie für Biegeversuche bestimmt.

Die Normenentwürfe für die *Ermittlung der Festigkeiten* (ISO/DIS 4012, 4013 und 4108) bauen auf entsprechenden RILEM-Empfehlungen auf. Es werden die Überprüfung der Maße und der Ebenheit, die Vorbereitung der Prüfflächen für die Druckprüfung (Schleifen, Abgleichen), die Bestimmung der Beton-Rohdichte und die Anforderungen an die Prüfmaschinen behandelt. Die Festlegungen entsprechen weitgehend DIN 1048 Teil 1. Allerdings fehlt eine Angabe, in welcher Richtung die Druckbeanspruchung bei Würfeln aufzubringen ist. Die Spaltzugfestigkeit darf auch an würfelförmigen oder quaderförmigen Probekörpern ermittelt werden. Um hier ähnliche Belastungsverhältnisse wie bei der Prüfung von Zylindern zu erzielen, sind die zur Lasteinleitung benutzten 15 mm breiten und 4 mm dicken Sperrholz- oder Preßspanstreifen über konvex gewölbte Metallzwischenlagen zu belasten. Eine mehrmalige Verwendung der Sperrholz- oder Preßspanstreifen ist nicht zulässig.

Bei der Prüfung zur Beurteilung des *Frost-Tausalz-Widerstandes* von Beton (ISO/DIS 4846) wird auf die Betonoberfläche eine 3% ige Tausalzlösung in einer Schichtdicke von rd. 3 mm aufgebracht. Der Probekörper wird 16 bis 18 Stunden bei -18 °C eingefroren und 8 bis 6 Stunden bei Raumtemperatur aufgetaut. Der Frost-Tau-Wechsel wird 25 mal wiederholt. Für die Beurteilung sind die Masse des abgewitterten Betons sowie die Tiefe und der Flächenanteil der Abwitterung maßgebend. Nach dem Grad der Schädigung werden sechs Klassen unterschieden.

In Deutschland besteht bis jetzt kein genormtes Prüfverfahren für den Frost-Tausalz-Widerstand des Betons. In neueren Vergleichsversuchen [1] erwiesen sich das Einfrieren und Auftauen in einer 3% igen NaCl-Lösung (Eintauchverfahren) sowie das Einfrieren einer Wasserschicht und das Auftauen mittels Salz (Salzaufstreuverfahren) als geeignet. Die Beanspruchung ist beim Eintauchverfahren am stärksten. Das Salzaufstreuverfahren soll im Gegensatz zum ISO-Verfahren, das zunächst vorwiegend tiefere Abwitterungen an einzelnen Stellen zur Folge hat, von Anfang an zu einer gleichmäßigen, fortschreitenden Abwitterung auf der gesamten Prüffläche führen. Weniger geeignet scheint das Einfrieren der untergetauchten Betonprobe in gesättigter NaCl-Lösung nach [2] zu sein.

2.3 In Arbeit befindliche ISO-Dokumente

Zur Zeit sind die im folgenden genannten Themen in Bearbeitung, von denen einige kurz erläutert werden.

Prüfverfahren für Beton

Frischbetonrohddichte

Rohddichte von erhärtetem Beton

Druck-Elastizitätsmodul

Luftporengehalt des erhärteten Betons (Meßlinienverfahren nach Rosiwal bzw. ASTM C 457 bzw. Richtlinien für die Prüfung der Wirksamkeit von Betonzusatzmitteln, Abschnitt 3.2.2)

Betonzuschlag

Terminologie und Klassifizierung

Prüfverfahren für Schüttdichte, Kornrohddichte und Wasseraufnahme

Betonzusatzmittel (Terminologie und Einteilung)

Nachbehandlung von Beton (Möglichkeiten)

Umrechnungsfaktoren für Festigkeiten verschiedenartiger Probekörper

Umweltbedingungen (Klassifizierung und Beurteilung)

Hierzu liegen Diskussionspapiere vor, die sich in ihrer Konzeption grundsätzlich unterscheiden.

Ein russisches Dokument beschränkt sich auf eine grobqualitative Klassifizierung der Umweltbedingungen nach Aggregatzustand, Temperaturbereich, Feuchtigkeit und Aggressivität des umgebenden Mediums. Es werden 3 Angriffsgrade unterschieden, die aber nicht den Umweltbedingungen zugeordnet sind, sondern von der Schädigung des Betons (äußere Korrosionserscheinungen, Festigkeitsverlust) abhängig gemacht werden.

Demgegenüber entsprechen ein Dokument des Cembureau und ein amerikanischer Vorschlag im grundsätzlichen Aufbau DIN 4030, mit der sie auch in den Zahlenwerten für die Menge schädlicher Verbindungen in Wässern weitgehend übereinstimmen.

Qualitätskontrolle

Dieses Thema bereitet große Schwierigkeiten. Eine mehrheitliche Zustimmung wird nur bei einem Verzicht auf Detailregelungen zu erreichen sein. Die Norm wird deshalb wahrscheinlich nur noch fordern, daß der jeweilige charakteristische Wert durch Stichproben und eine statistische Auswertung nachzuweisen ist. Dafür wird eine Annahmekennlinie vorgeschlagen, die für einen Schlechtanteil von p bzw. $2p$ bzw. $3p$ eine Annahmewahrscheinlichkeit von 95 % bzw. 70 % bzw. 40 % ergibt.

Bauwerksfestigkeit

Dieser Frage kommt für die Zukunft eine relativ große Bedeutung zu. Über die Lösung sind aber noch keine Aussagen möglich.

3. RILEM

RILEM ist eine internationale Fachvereinigung, in der sich zahlreiche mit der Prüfung und Entwicklung von Baustoffen und Bauteilen

befäßte Institute zusammengeschlossen haben. Ihr Ziel ist eine Förderung der technisch-wissenschaftlichen Entwicklung durch Gedankenaustausch, Symposien und Kongresse. Die Tätigkeit erstreckt sich auf alle Baustoffe und daraus hergestellte Bauteile. Für einzelne Fachgebiete bestehen technische Ausschüsse (Committees), die den Stand der Kenntnisse zusammentragen und Richtlinien oder Empfehlungen für die Prüfung und z. T. auch für die zu stellenden Anforderungen erarbeiten.

Die bis jetzt verabschiedeten Empfehlungen sind in der Tafel 4 zusammengestellt. Sie behandeln überwiegend Prüfverfahren. Die jeweils vorangesetzte Buchstabengruppe verweist auf den zugehörigen Arbeitsausschuß, z. B. CPC für *Concrete Permanent Committee*

Tafel 4 RILEM-Empfehlungen

Allgemeine Prüfungen	
CPC 1:	Entnahme von Frischbetonproben auf der Baustelle
CPC 2.1:	Slump test
CPC 2.2:	Vebe test
	} Konsistenzprüfung
CPC 3:	Herstellung und Nachbehandlung von Probekörpern aus Beton
CPC 4:	Druckversuch
CPC 5:	Biegeversuch
CPC 6:	Spaltzugfestigkeit
CPC 7:	Zentrischer Zugversuch
CPC 8:	Druck-Elastizitätsmodul von Beton
CPC 9:	Messung des Schwindens und Quellens
CPC 10.1:	Frischbetonrohddichte
CPC 10.2:	Rohddichte von erhärtetem Beton
CPC 11.1:	Wasseraufnahme bei Unterwasserlagerung
CPC 11.2:	Kapillare Wasseraufnahme
Dauerhaftigkeit	
CDC 1:	Prüfung des Frostwiderstandes von Beton ohne Tausalzeinwirkung
CDC 2:	Prüfung des Frostwiderstandes von Beton unter gleichzeitiger Einwirkung von Tausalzen
Zerstörungsfreie Prüfverfahren	
NDT 1:	Prüfung von Beton mit Hilfe von Ultraschall Durchschallungs-Methode
NDT 2:	Prüfung von Beton mit Hilfe von Ultraschall Resonanzfrequenz-Methode

Tafel 4 (Fortsetzung)

Verbund Bewehrung – Beton (RILEM/CEB/FIP-Empfehlungen)	
RC 5:	Verbundverhalten von Bewehrungsstählen 1. Balkenversuch
RC 6:	Verbundverhalten von Bewehrungsstählen 2. Ausziehversuch
Leichtbeton und Gasbeton	
LC 1:	Terminologie und Definition von Leichtbetonen
LC 2:	Funktionelle Klassifizierung von Leichtbetonen
LC 3:	Druckfestigkeit von dampfgehärtetem Gasbeton
LC 4:	Ermittlung des Schwindens von dampfgehärtetem Gasbeton
LC 4.2:	Bestimmung der Längenänderung infolge Feuchtedehnung bei dampfgehärtetem Gasbeton
LC 5:	Bestimmung der Trockenrohddichte von dampfgehärtetem Gasbeton
LC 7:	Wasserdampfdurchlässigkeit von dampfgehärtetem Gasbeton
LC 8:	Korrosionsschutz der Stahlbewehrung in dampfgehärtetem Gasbeton
Bauausführung	
Empfehlungen für das Bauen im Winter; siehe [3]	

oder NDT für *Non Destructive Testing*. Soweit diese Empfehlungen die Grundlage für einen ISO-Normenentwurf bilden, wurden sie implizit im Abschnitt 2.2 besprochen.

4. Ausarbeitungen des CEB

4.1 Allgemeines

Das CEB, eine Fachvereinigung der europäischen und einiger überseeischer Länder für Beton- und Stahlbeton, hat in Verbindung mit FIP in mehrjähriger Arbeit ein technisches Regelwerk für Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Stahlbeton und Spannbeton erstellt, das unter dem Namen Model Code [4] bekannt ist. Darin wurde der Werkstoff Beton zunächst als eine gegebene Größe vorausgesetzt. Erst relativ spät hat man sich entschlossen, die Bontontechnologie in einem Anhang (Annex d) zu behandeln. Dafür liegt eine zum FIP-Kongreß 1978 in London vorgelegte und veröffentlichte Fassung vor, die in der Thematik den Abschnitten 6 bis 11 von DIN 1045 entspricht. Es werden in erster Linie die Kriterien für

die Wahl der Ausgangsstoffe und der Betonzusammensetzung angesprochen. Darüber hinaus finden sich Hinweise, was bei der Herstellung und Verarbeitung des Betons zu beachten ist. Nicht behandelt werden Prüfverfahren.

Bei der Ausarbeitung waren die bekannten Schwierigkeiten einer internationalen Angleichung zu überwinden. Die Festlegungen sollen die Verhältnisse in Ländern mit unterschiedlichen Rohstoffvorkommen und klimatischen Bedingungen, mit verschiedenartigen Wirtschaftssystemen und mit unterschiedlicher Regelung der Verantwortlichkeit berücksichtigen. Der Inhalt mußte sich daher auf allgemeingültige Hinweise beschränken.

Detaillierte Zahlenangaben, wie z. B. für die Zusammensetzung des sog. Rezeptbetons, waren nicht möglich. Es werden jedoch verschiedentlich Richtwerte genannt, die die Erfahrungen in einzelnen Ländern berücksichtigen und als Entscheidungshilfe nützlich sein können. Der Anhang d „Betontechnologie“ ist insgesamt als Rahmenrichtlinie konzipiert, die die Frage „Was ist zu tun?“ behandelt. Für die Frage „Wie ist es zu tun?“ wird auf spezielle Ausarbeitungen internationaler und nationaler Fachorganisationen verwiesen [3, 5 bis 8]. Im folgenden werden die wesentlichen Abschnitte des Anhangs d besprochen.

4.2 Ausgangsstoffe

Zement

Für den Zement ist eine Normung wegen der unterschiedlichen Rohstoffverhältnisse besonders schwierig. Sie wird seit längerem im Rahmen von CEN versucht. Man hat sich daher hier zunächst auf eine Aufzählung der wesentlichen Kriterien (Raumbeständigkeit, Erstarrungsverhalten, Festigkeitsentwicklung und, in Sonderfällen, Widerstand gegen chemische Angriffe, Hydratationswärme) beschränkt und im einzelnen auf die nationalen Normen verwiesen.

Betonzuschlag

Hier mußte man sich aus den eingangs genannten Gründen auf den an sich selbstverständlichen Hinweis beschränken, welche Eigenschaften der Zuschlag nicht aufweisen darf: unter der Einwirkung von Wasser nicht erweichen, nicht in unzulässigem Maße quellen, sich nicht zersetzen, mit dem Zement und seinen Hydratationsprodukten keine schädlichen Verbindungen eingehen und den Korrosionsschutz der Bewehrung nicht beeinträchtigen. Im übrigen wird auf die nationalen Normen verwiesen.

Schädliche Bestandteile in den Ausgangsstoffen

Maßgebend ist die Summe der mit den verschiedenen Komponenten eingetragenen Schadstoffe. Stark umstritten waren die höchstzulässigen Mengen, insbesondere für den Chloridgehalt. Die Regelungen in den einzelnen Ländern weichen stark voneinander ab, wobei Deutschland eine Mittelstellung einnimmt. Hier ist für Spannbeton mit sofortigem Verbund, also ohne zusätzlichen Schutz der Spannglieder durch Hüllrohre und Einpreßmörtel, ein maximaler Gehalt von 0,25 % Cl^- , bezogen auf das Zementgewicht, zulässig. Er entspricht der Summe der zulässigen Werte in den Aus-

gangsstoffen. Für Stahlbeton bestehen bei uns keine Vorschriften; als kritisch gilt bei vorsichtiger Einschätzung ein Gehalt über 0,4 %.

Demgegenüber gibt es Länder, wie z. B. Belgien, die den Grenzwert wesentlich höher, bis gegen 1,0 % Cl^- , bezogen auf den Zementgehalt, ansetzen möchten. Andere Länder haben schärfere Anforderungen. Dazu gehört Großbritannien, wo in CP 110 ein oberer Grenzwert von 0,35 % (maximaler Einzelwert 0,5 %) für Stahlbeton allgemein und von nur 0,06 % für Stahlbeton mit HS-Zement und für Spannbeton festgelegt ist. Bei dieser Sachlage konnte man sich bis jetzt nur auf den Hinweis verständigen, daß in Stahlbeton bei Cl^- -Gehalten ab 0,35 % bis 1 % des Zementgewichts Korrosionsgefahr für die Bewehrung besteht, während für die empfindlicheren Spannstähle bereits wesentlich niedrigere Gehalte schädlich sein können. Je nach Land werden 0,3 oder 0,2 oder sogar bereits 0,06 % als gefährlich angesehen.

4.3 Klassifizierung des Betons

Beton-Festigkeitsklassen

Der CEB/FIP-Model Code [4] hat aus der ISO-Norm 3893 – 1977 folgende Festigkeitsklassen ausgewählt, die nach der charakteristischen Zylinder-Druckfestigkeit benannt sind:

C 12, C 16, C 20, C 25, C 30, C 35, C 40, C 45, C 50.

In diese Reihe lassen sich alle in DIN 1045 für bewehrten Beton festgelegten Festigkeitsklassen einordnen (vgl. aber Hinweis zu ISO 3893 in Abschnitt 2.2). Die in etwa unserem B 15 entsprechende Festigkeitsklasse C 12 ist für Stahlbeton allerdings nur in besonders begründeten Ausnahmefällen zulässig. Damit wird die Qualität des für weniger hoch beanspruchte Konstruktionen in Frage kommenden Betons auf die in DIN 1045 nicht vorgesehene Stufe B 20 angehoben.

Die unterste Festigkeitsklasse für Spannbeton ganz allgemein ist C 25. Sie liegt zwischen unserem B 25 und B 35. Bei uns darf Spannbeton mit nachträglichem Verbund ab der Festigkeitsklasse B 25, Spannbeton mit sofortigem Verbund (Spannbettvorspannung) dagegen erst ab B 35 hergestellt werden.

Betongruppen

Nach den Ausschreibungs-(Herstellungs-) und Überwachungsbedingungen unterscheidet der Model Code folgende Betongruppen:

Betongruppe	Zusammensetzung	Spezifikationsgrundlage	Festigkeitsklassen
C I	nach Eignungsprüfung	Druckfestigkeit	alle
C II	nach Norm	Zusammensetzung	C 12 bis C 25
C III	nach Rezeptur (des Entwurfsingenieurs)	Zusammensetzung	alle

Die Gruppe C I entspricht im Prinzip unserem B II, die Gruppe C II unserem B I. Bei Beton der Gruppe C III, der nach einem vorgeschriebenen Rezept hergestellt wird, kann es sich um Entwurfsbeton (C I) oder Normbeton (C II) handeln. Der Unterschied gegenüber diesen Betongruppen besteht nur in der Verantwortlichkeit, die im Fall des Rezeptbetons C III beim Abnehmer bzw. dessen Entwurfsingenieur liegt.

Konsistenzklassen

Es besteht Übereinstimmung, daß die Angabe der Konsistenz zur Kennzeichnung der Verarbeitbarkeit benutzt werden soll. Eine einheitliche Einteilung bereitet Schwierigkeiten, da sie mit dem Prüfverfahren gekoppelt ist und in bestimmten Ländern nur bestimmte Verfahren angewendet werden.

Für die im Model Code erfaßten Anwendungsgebiete werden 4 Konsistenzbereiche unterschieden. In Tafel 5 sind die zugehörigen Konsistenzmaße bei Anwendung des Setzzeitversuchs (VEBE), des Trichterversuchs (Slump test) und des Verdichtungsversuchs angegeben.

Tafel 5 Konsistenzbereiche gemäß Anhang d des CEB/FIP-Model Code [4]

Konsistenzbereich	VEBE s	Slump mm	Verdichtungsmaß -	Bezeichnung nach DIN 1045
steif	über 30 bis 11	-	$\geq 1,26$	K 1
plastisch	10 bis unter 5	10-60	1,25 bis 1,11	K 2
weich	-	60-150	1,10 bis 1,04	K 3
fließend	-	über 160	-	Fließbeton

Das bei uns zur Beurteilung plastischer, weicher und fließfähiger Betone gebräuchliche Ausbreitmaß ist als weitere Kennzahl international nicht durchsetzbar.

Da keine allgemeingültige Korrelation zwischen den verschiedenen Konsistenz-Kennzahlen besteht, ist das Prüfverfahren vorher zu vereinbaren.

4.4 Betonzusammensetzung

Kornzusammensetzung des Betonzuschlags

Hier bestehen für eine Vereinheitlichung mehrere Schwierigkeiten. Zum einen ließ sich bis jetzt keine einheitliche Prüfsiebreihe festlegen. Nach ISO/DIS 6274 dürfen wahlweise 3 Prüfsiebriihen verwendet werden, wobei allerdings die bei uns gebräuchliche Reihe 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31,5 - 63 mm als Vorzugsreihe empfohlen wird.

Zum anderen kennen andere Länder nicht Regelsieblinien deutscher Perfektion. Maß mußte sich deshalb auf den Hinweis be-

schränken, daß die Kornzusammensetzung durch Sieblinien gekennzeichnet werden kann. Dabei sind stetige und unstetige Kornzusammensetzungen möglich. Die Regelsieblinien der DIN 1045 werden als Beispiele für günstige und brauchbare Kornzusammensetzungen angegeben. Es kann aber auch genügen, anstelle von Sieblinien nur das Verhältnis von feinem zu grobem Zuschlag festzulegen, wobei an den Kornaufbau des feinen und des groben Zuschlags besondere Anforderungen zu stellen sind. (Z. B. wird in den USA unter „feinem Zuschlag“ bzw. Sand die Korngruppe bis 4,8 mm verstanden, ebenso in England.)

Der Zuschlag muß im allgemeinen aus mindestens 2 Korngruppen zusammengesetzt werden. Es kann aber bei bereits von Hause aus geeigneter Zusammensetzung auch ungetrennter Zuschlag verwendet werden, was in Deutschland nur für Betone der Festigkeitsklassen B 5 und B 10 zulässig ist.

Umstritten war auch die Definition des Mehlkorns. Zum Mehlkorn sollen alle Bestandteile unter 0,25 mm Korngröße gerechnet werden, wobei der Anteil unter 0,125 mm als besonders bedeutsam anzusehen ist. Über den erforderlichen Mehlkorngesamt war keine Einigung zu erzielen. Man hat sich mit dem Hinweis auf tendenzielle Einflüsse begnügt, wie z. B., daß künstlich eingeführte Luftporen den Mehlkorn-Bedarf vermindern.

Wasserzementwert und Mindest-Zementgehalt

Es werden unabhängig von der Zementart Wasserzementwerte $\leq 0,70$ in Innenräumen und $\leq 0,65$ im Freien, in nicht aggressiver Umgebung, empfohlen. Diese Werte sind zum Teil etwas niedriger als die entsprechenden Grenzwerte der DIN 1045 für bewehrten Beton.

Als Mindest-Zementgehalte werden wie bei uns 240 kg/m³ für Stahlbeton und 270 kg/m³ für Spannbeton empfohlen, wobei die Mehrzahl der Länder diese Werte allerdings für zu niedrig hält.

Betone mit besonderen Eigenschaften

Für *wasserundurchlässigen* Beton besteht eine Tendenz zu etwas niedrigeren Wasserzementwerten als in DIN 1045 gefordert, nämlich 0,50 bis 0,60 bei Bauteilen von etwa 10 bis 40 cm Dicke und 0,60 bis 0,70 bei dickeren Bauteilen. Dies erscheint im Hinblick darauf, daß DIN 1045 für den Wasserzementwert kein Vorhaltemaß kennt, angemessen.

Die Empfehlungen für Beton mit *hohem Frostwiderstand* und Beton mit *hohem Frost-Tausalz-Widerstand* entsprechen praktisch den Festlegungen der DIN 1045.

In Nordeuropa und Nordamerika sind bei Frost-Tausalz-Angriff höhere Luftporengehalte üblich als bei uns.

Für Beton mit *hohem Widerstand gegen chemische Angriffe* wurde die Regelung der DIN 1045 übernommen. Die Beurteilung des Angriffsgrades soll nach der entsprechenden ISO-Norm vorgenommen werden. Von dieser liegt noch keine endgültige Fassung vor. Bis dahin können Wässer und Böden nach Kriterien beurteilt werden, die aus DIN 4030 übernommen wurden.

Für Beton mit *hohem Abnutzwiderstand* werden ähnliche Hinweise gegeben wie in DIN 1045. Das gleiche gilt auch für Beton mit *ausreichendem Widerstand gegen Hitze*. Die Empfehlung, hierfür Zuschlag mit möglichst kleiner Temperaturzahl zu verwenden, wurde allerdings nicht übernommen. Sie ist auch bei uns umstritten. Günstiger dürfte es sein, wenn die Temperaturdehnzahlen von Zuschlag und Zementstein sich möglichst wenig unterscheiden³⁾.

Die Empfehlungen für Beton für *Unterwasserschüttung* enthalten ebenfalls keine grundsätzlichen Abweichungen von dem entsprechenden Abschnitt der DIN 1045. Über den erforderlichen Zementgehalt bestehen allerdings keine einheitlichen Auffassungen. In der Literatur werden ebenso wie in DIN 1045 häufig hohe Zementgehalte von 350 bis 450 kg/m³ empfohlen, um die Kohäsion des Frischbetons zu verbessern und damit die Gefahr des Auswaschens zu verringern und trotz der unvermeidbaren Auswaschungen noch einen ausreichend hohen Zementgehalt im erhärteten Beton zu gewährleisten. Andererseits bringt eine Erhöhung des Zementgehaltes auf bis zu 400 kg/m³ keine wesentliche Verbesserung der Festigkeit, kann aber die Bildung von Temperaturrissen in den meist massigen Unterwasserbeton-Bauteilen begünstigen. Es kann deshalb besser sein, sich auf einen Zementgehalt von etwa 325 kg/m³ zu beschränken und die erforderliche Kohäsion des Frischbetons durch einen Mehlkorn-Zusatz zu erreichen.

Im CEB-Arbeitskreis Betontechnologie war man der Ansicht, der Ingenieur sei nicht nur für ein zufriedenstellendes Verhalten des Bauwerks in statisch-konstruktiver und in funktioneller Hinsicht verantwortlich, sondern auch für ein ansprechendes Äußeres. Deshalb wurden in den Anhang d auch einige Hinweise für die Herstellung von *Sichtbeton* aufgenommen.

4.5 Herstellung des Frischbetons

Abmessen der Ausgangsstoffe

Die anzustrebende Genauigkeit beim Abmessen der Ausgangsstoffe beträgt, wie auch in DIN 1045 festgelegt, allgemein $\pm 3\%$ der Zugabemenge. Für Zusatzmittel hielt man eine Genauigkeit von $\pm 5\%$ für ausreichend.

Mischen des Betons

Abweichend von DIN 1045 wollte man sich auf eine Mindest-Mischdauer nicht festlegen. Die Ausgangsstoffe sind so lange zu mischen, bis ein gleichmäßiges Gemenge entstanden ist.

Transportbeton

Für Herstellung, Transport und Auslieferung von Transportbeton werden ähnliche Empfehlungen wie in DIN 1045 gegeben. Bei der

³⁾ In der Neufassung der DIN 1045, Ausgabe Dezember 1978, wurde der entsprechende Abschnitt in diesem Sinne geändert.

Übergabe an der Verwendungsstelle muß der Beton die vereinbarte Konsistenz und Zusammensetzung besitzen. Eine zusätzliche Wasserzugabe zur Erzielung der benötigten Konsistenz kurz vor dem Entladen ist erlaubt, wenn sichergestellt ist, daß dabei der für den jeweiligen Anwendungsfall höchstzulässige Wasserzementwert nicht überschritten wird. Die empfohlenen Entladefristen entsprechen DIN 1045.

Verarbeiten des Frischbetons und Nachbehandlung

Hierzu werden einige allgemeingültige Empfehlungen gegeben. Bezüglich der Einzelheiten wird auf die Ausarbeitungen [3, 5 bis 8] verwiesen.

4.6 Leichtbeton

Für Leichtbeton sind die gleichen *Festigkeitsklassen* vorgesehen wie für Normalbeton. Für bestimmte Anwendungsfälle, die allerdings im Model Code nicht behandelt werden, kann auch Leichtbeton niedrigerer Festigkeitsklassen verwendet werden. Somit stößt die Anwendung der in DIN 4219 Teil 1 vorgesehenen Festigkeitsklassen LB 8 und LB 10 auf keine Schwierigkeiten.

Wie auch in DIN 4219 Teil 1 gefordert, ist die *Zusammensetzung* des Leichtbetons stets anhand von Eignungsprüfungen festzulegen. Darüber hinaus darf der Zementgehalt gewisse Mindestwerte nicht überschreiten.

Im allgemeinen soll die *Konsistenz* unmittelbar vor dem Einbau im plastischen Bereich liegen. Leichtbeton mit steifer Konsistenz ist verhältnismäßig schwer zu verdichten. Bei weicher oder fließfähiger Konsistenz können die leichten Grobzuschläge zum Aufschwimmen neigen.

Die Hinweise für *Verarbeitung* und *Nachbehandlung* des Leichtbetons entsprechen den allgemeinen Erfahrungen.

4.7 Betondeckung der Bewehrung

Die im Model Code vorgesehene Mindest-Betondeckung der Bewehrung richtet sich wie bei uns nach

- den Umweltbedingungen
- der Art der Tragwerke
- der Betonfestigkeitsklasse
- der Korrosionsempfindlichkeit der Bewehrung
- dem Stabdurchmesser der Bewehrung
- dem Größtkorn des Betonzuschlags

Die Nennwerte für die Betondeckung sind in Tafel 6 angegeben. Die Minustoleranzgrenze beträgt 5 mm. Eine Plustoleranzgrenze wurde nicht festgelegt.

Bei den *Umweltbedingungen* wird zwischen den drei Angriffsgraden „wenig aggressiv“, „mäßig aggressiv“ und „sehr aggressiv“ unterschieden.

Der Angriffsgrad „wenig aggressiv“ entspricht etwa der Zeile 1 von

Tafel 6 Mindestmaß der Betondeckung [mm] nach dem CEB/FIP-Model Code

Grundwerte			Korrekturwert für			
Umweltbedingungen			korrosions-empfindliche Bewehrung	Platten oder Scheiben	Beton	
wenig aggressiv	mäßig aggressiv	sehr aggressiv			C 12, C 16, C 20	C 40, C 45, C 50
15	25	35	+ 10	- 5	+ 5	- 5

Tabelle 10 der DIN 1045 und gilt im wesentlichen für trockene Innenräume.

Dem Angriffsgrad „mäßig aggressiv“ werden Bauteile im Freien (DIN 1045, Tabelle 10, Zeile 2) zugeordnet, aber auch Innenräume von Gebäuden mit höherer Feuchtigkeit oder Fälle, in denen zeitweiliges Auftreten korrosionsfördernder Dämpfe zu befürchten ist (Tabelle 10, Zeile 3) sowie Bauteile in fließendem Wasser.

Als „sehr aggressiv“ werden bezeichnet: Flüssigkeiten mit schwachem Säuregehalt, Salzwasser oder stark sauerstoffhaltiges Wasser, korrosionsfördernde Gase oder sehr korrosionsfördernde Böden, durch korrosionsfördernde Industrieabgase verschmutzte Luft oder Luft in Meeresnähe. Diese Umweltbedingungen sind in Tabelle 10 der DIN 1045 teils der Zeile 3 und teils der Zeile 4 zugeordnet.

Nach der *Art der Tragwerke* wird nur zwischen allgemeinen Tragwerken und Flächentragwerken unterschieden. Für Fertigteile gilt abweichend von DIN 1045 keine Sonderregelung. Bei Flächentragwerken darf die Betondeckung wie bei uns um 5 mm vermindert werden.

Die Staffelung nach der *Betonfestigkeit* ist ähnlich wie in DIN 1045 vorgenommen. Allerdings wäre nach dem Model Code unsere Festigkeitsklasse B 25 noch der ungünstigsten Gruppe zuzurechnen, und die bei uns ab der Festigkeitsklasse B 35 (allerdings nur für Fertigteile) gestattete Abminderung ist nach dem Model Code erst ab der Festigkeitsklasse C 40 (\approx B 45) erlaubt.

Die Staffelung nach der *Korrosionsempfindlichkeit* der Bewehrung wirkt sich baupraktisch ähnlich aus wie unsere Regelung, bei der für Spannstähle eine größere Betondeckung gefordert wird als für Betonstähle.

Als korrosionsempfindlich gelten alle

Stäbe und Drähte mit einem Durchmesser ≤ 4 mm,

vergüteten (treated) Stähle beliebigen Durchmessers,

kaltverformten Stähle, wenn sie ständigen Zugspannungen über 400 N/mm^2 ausgesetzt sind (besonders Spannstähle).

Die Betondeckung darf nicht kleiner sein als der *Stabdurchmesser*, was praktisch DIN 1045, Tabelle 9, entspricht. Sie muß außerdem bei

Zuschlag mit einem *Größtkorn* über 32 mm um mindestens 5 mm größer sein als der Größtkorndurchmesser, während sie nach DIN 1045 nur um 5 mm gegenüber dem Normalfall zu erhöhen ist. Diese Forderung des Model Code erscheint überspitzt.

Für die Mehrzahl der Anwendungsfälle unterscheidet sich die nach dem Model Code erforderliche Mindest-Betondeckung jedoch nicht oder nur unwesentlich von den in DIN 1045 geforderten Werten, wenn man im Auge behält, daß die Mindest-Betondeckung nach dem Model Code um bis zu 5 mm unterschritten werden darf, während die Werte nach DIN 1045 keine Minustoleranzen beinhalten.

4.8 Einpreßmörtel für Spannkanäle

Abweichend von einer vorhergehenden Ausgabe [9] enthält der jetzige Model Code keine näheren Angaben über die Zusammensetzung von Einpreßmörtel und keine zahlenmäßigen Festlegungen bezüglich seiner Eigenschaften. Es wird lediglich aufgezählt, was vor dem Einpressen des Zementmörtels festzulegen und zu überprüfen ist. Dazu gehören:

- Art des Zements und der Zusatzmittel (ggf. auch Sandanteil und Sandart)
- höchstzulässiger Anteil an schädlichen Stoffen (insbesondere an Chlor- und Schwefelverbindungen und an Nitraten)
- Wasserzementwert
- Fließvermögen
- Neigung zum Wasserabsondern
- Druckfestigkeit
- Umgebungstemperatur
- Dauer der Verarbeitbarkeit

Die Schutzwirkung des Einpreßmörtels hängt vom Wasserzementwert ab. Dieser soll durch eine Eignungsprüfung ermittelt werden. Bezüglich von Einzelheiten wird auf die FIP-Richtlinien über Bauausführung [5] verwiesen.

5. Zusammenfassung

Für die zur Zeit laufende internationale Angleichung und Vereinheitlichung der betontechnologischen Bestimmungen sind die Tätigkeiten der ISO, der RILEM und des CEB von besonderer Bedeutung.

Die internationale Normung obliegt in erster Linie der ISO. Den ISO-Normen kommt im Hinblick auf früher oder später zu erwartende EG-Regelungen eine besondere Bedeutung zu.

In den RILEM-Empfehlungen, die sich in erster Linie mit Prüfverfahren befassen, kommt der Stand der technisch-wissenschaftlichen Kenntnisse zum Ausdruck. Sie haben selbst keinen Normen- und Vorschriftencharakter, dienen aber in der Regel als Grundlage für entsprechende ISO-Normen.

CEB hat in Verbindung mit FIP ein technisches Regelwerk für Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Stahlbeton und

Spannbeton erstellt, den sog. Model Code. Die Betontechnologie wird in einem Anhang behandelt, für den z. Z. eine vorläufige, zum FIP-Kongreß 1978 in London vorgelegte und veröffentlichte Fassung vorliegt. Diese entspricht in der Thematik den Abschnitten 6 bis 11 der DIN 1045.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß bei der internationalen Vereinheitlichung der betontechnologischen Bestimmungen keine grundlegenden Abweichungen von den bisherigen deutschen Regelungen zu erwarten sind, wenn auch sicher die bei uns angestrebte Perfektionierung dort nicht Eingang finden wird. Man kann davon ausgehen, daß sich unsere nationalen Normen ohne allzu große Schwierigkeiten in diesen Rahmen einpassen lassen. Über den weiteren zeitlichen Verlauf sind keine zuverlässigen Voraussagen möglich.

SCHRIFTTUM

- [1] Bonzel, J., und E. Siebel: Neuere Untersuchungen über den Frost-Tausalz-Widerstand von Beton. *beton* 27 (1977) H. 4, S. 153/158, H. 5, S. 205/211, und H. 6, S. 237/244; ebenso *Betontechnische Berichte* 1977, Beton-Verlag, Düsseldorf 1978, S. 55/104.
- [2] Werse, H. P.: Prüfung des Frost- und Tausalzwiderstandes des Betons von Brückenkappen. *Betonwerk + Fertigteil-Technik* 42 (1976) H. 1, S. 24/28, und H. 2, S. 93/96.
- [3] RILEM: Recommendations for winter concreting. *RILEM Bulletin*, Paris 1963. – Recommendations RILEM pour le bétonnage en hiver. *Annales ITBTP*, Paris 1963.
- [4] CEB/FIP-Mustervorschrift für Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton (Band II der Internationalen CEB/FIP-Richtlinien, 3. Ausgabe 1978). Deutsche Übersetzung der französischen Originalfassung. Vertrieb der deutschen Ausgabe: Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Bundesallee 216/218, 1000 Berlin 15.
- [5] FIP Commission on practical construction: Guide to good practice – Basic reinforced and prestressed concrete construction. London 1978.
- [6] European Ready Mixed Concrete Organization (E.R.M.C.O.): Code on good practice for ready mixed concrete. Stockholm 1977.
- [7] CUR-Rapport 56: Onderwaterbeton. Englische Übersetzung in Heron. Vol. 19, 1973.
- [8] ACI Committee 305: Hot weather concreting. *Proc. Amer. Concr. Inst.* 74 (1977), S. 317/332.
- [9] CEB-FIB: Recommendations internationales pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton. 2. Auflage, Mai 1972. *CEB Bulletin d'information* No. 84.