

Die neue deutsche Zementnorm DIN 1164-1

The new German cement standard DIN 1164-1

Siegbert Sprung, Franz Sybertz, Gerd Thielen; Düsseldorf

Übersicht

Mit der Herausgabe von DIN 1164-1 im Oktober 1994 erfuhr die in ihren wesentlichen Festlegungen seit 1970 kaum veränderte deutsche Zementnorm eine grundlegende Überarbeitung. Diese Überarbeitung wurde durch zwei Entwicklungen notwendig. Zum einen waren die Vorarbeiten für eine europäische Zementnorm durch die Herausgabe der Vornorm ENV 197-1 so weit fortgeschritten, daß eine Anpassung daran sinnvoll erschien, zum anderen fanden seit den 80er Jahren neue, von der Zementnorm nicht erfaßte und deshalb bauaufsichtlich zugelassene Zemente Eingang in den Markt. Beiden Entwicklungen ist mit der neuen DIN 1164-1 Rechnung getragen worden. Die mit der neuen Zementnorm verbundenen Änderungen werden nachfolgend erläutert.

1 Einleitung

1.1 Europäische Entwicklung

Seit 1975 arbeitet ein normenmäßig zusammengesetztes Komitee des CEN an technischen Grundlagen für eine europäische Zementnorm. Im Vordergrund stand dabei zunächst die Ausarbeitung von Prüfnormen. Die in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlichen Prüfverfahren zur Bestimmung der Zementkennwerte waren zu vereinheitlichen und in Ringversuchen zu erproben. Als Ergebnis liegen die Prüfnormen der Reihe DIN EN 196 vor (siehe Bild 1). Mit Ausnahme von DIN V ENV 196-4 „Quantitative Bestimmung der Bestandteile“ sowie der Prüfverfahren für die Hydrationswärmeentwicklung sind die Teile seit März 1990 verbindlich als DIN-Normen eingeführt. Einige wurden inzwischen redaktionell als Ausgabe Mai 1995 überarbeitet. Auch die meisten anderen Länder haben diese Prüfverfahren übernommen, so daß in Europa heute weitgehend die gleichen Prüfverfahren zur Bestimmung der Zementkennwerte zur Anwendung kommen.

Die Ausarbeitung der eigentlichen europäischen Zementnorm stieß auf größere Hindernisse. Eine wesentliche Ursache hierfür liegt in der Tatsache, daß in den einzelnen Ländern Europas je nach Rohstoffvorkommen und Tradition sehr unterschiedliche Zementarten hergestellt werden. Portlandzement wird in jedem Land, jedoch mit unterschiedlichen Anteilen von etwa 10 bis 100 % an der Gesamtproduktion produziert. Europaweit, d. h. in den EG- und EFTA-Staaten, liegt der Anteil dieser Zementart bei etwa 50 %, in Deutschland bei etwa 75 %. Hüttensandhaltige Zemente werden in zwei Dritteln der europäischen Länder hergestellt. Die Gesamttonnage erreicht jedoch kaum mehr als 15 % der gesamten Zementmenge. In ähnlichen Größenordnungen kommen Zemente mit natürlichen oder industriellen Puzzolanen auf den Markt. Eine zunehmende Bedeutung gewinnen Portlandkalksteinzemente. Als traditionell und erprobt – teilweise jedoch nur regional begrenzt – gelten insgesamt 25 unterschiedliche Zementarten und waren deshalb bei der Normung aufzunehmen. Es stellte sich die Aufgabe, eine für alle Zemente auf Leistungsmerkmale bezogene Klassifikation zu entwickeln, die neben der Festigkeit auch die Dauerhaftigkeit daraus hergestellter Betone berücksichtigt. Diese Aufgabe konnte mit der Ausarbeitung der europäischen Vornorm ENV 197-1: 1992 [1] wegen der regionalen Unterschiede bislang nicht gelöst werden. Die fehlende leistungsbezogene Klassifikation war der Grund für den deutschen Normenausschuß „Zement“, dieser Vornorm nicht zuzustimmen.

Abstract

Publication of DIN 1164-1 in October 1994 caused a fundamental revision of the German cement standard, which had hardly changed in its essential specifications since 1970. This revision was made necessary by two developments. Firstly, with the publication of the prestandard ENV 197-1 the preliminary work on a European cement standard had progressed so far that it seemed appropriate to conform to it, and secondly, new cements have found favour in the marketplace since the 80s which are not covered by the cement standard and are consequently licensed by the building authorities by means of technical approvals. The new DIN 1164-1 takes both developments into account. The changes associated with the new cement standard are described below.

DIN EN 196: Prüfverfahren für Zement / Methods of testing cement

Teil 1	Bestimmung der Festigkeit (05.95) Determination of strength
Teil 2	Chemische Analyse von Zement (05.95) Chemical analysis of cement
Teil 3	Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit (05.95) Determination of setting time and soundness
Teil 4	Quantitative Bestimmung der Bestandteile ¹⁾ (Vornorm 11.93) Quantitative determination of constituents ¹⁾
Teil 5	Prüfung der Puzzolanität von Puzzolanzementen (05.95) Pozzolanicity test for pozzolanic cements
Teil 6	Bestimmung der Mahlfineinheit (03.90) Determination of fineness
Teil 7	Verfahren für die Probenahme und die Probenauswahl von Zement (03.90) Methods of taking and preparing samples of cement
Teil 8	Hydrationswärme – Lösungsverfahren (in Vorbereitung) Hydration heat – Solution method
Teil 9	Hydrationswärme – Teiladiabatisches Verfahren (in Vorbereitung) Hydration heat – Semi-adiabatic method
Teil 21	Bestimmung des Chlorid-, Kohlenstoffdioxid- und Alkalianteils von Zement (03.90) Determination of the chloride, carbon dioxide and alkali content of cement

¹⁾ Endgültige Fassung wird nicht als Europäische Norm, sondern als Technischer Bericht von CEN veröffentlicht

¹⁾ Final version will not be issued as an European standard but as a CEN technical report

Bild 1 Genormte Prüfverfahren für Zement

Fig. 1 Standardized test methods for cement

Trotz dieses Mangels konnte mit der europäischen Zementnorm eine europaweit einheitliche Definition der Zementarten (Tafel 1), der diesen zugrundeliegenden Zusammensetzungen und der Zementfestigkeitsklassen erzielt werden. Daneben sind jetzt alle eingesetzten Zementbestandteile einheitlich definiert und unterliegen jeweils den gleichen Anforderungen. Ein weiterer Harmonisierungsfortschritt wurde dadurch erzielt, daß die baupraktisch relevanten Anforderungen an die chemischen, physikalischen und mechanischen Zementeigenschaften nun einheitlich festgelegt sind.

1.2 Deutsche Entwicklung

Bei der Überarbeitung von DIN 1164 setzte es sich der Normenausschuß „Zement“ zum Ziel, die Regelungen der europäischen Vornorm so weit wie möglich zu übernehmen, allerdings mit der Maßgabe, nur die Zemente in die deutsche Norm aufzunehmen, deren baupraktische Leistungsmerkmale zweifelsfrei beurteilt werden können und deren Anwendung in Deutschland erprobt ist. Dies sind die Zemente, die bereits in der bisherigen DIN 1164 Teil 1 genormt waren, und zusätzlich sind es die bislang bauaufsichtlich zugelassenen Zemente. Aufgrund dieser Kriterien wurden nur die in Tafel 1 schraffiert gekennzeichneten Zemente für die Normung in DIN 1164-1 [2] ausgewählt. Mit dieser Auswahl wird der auch für die

1 Introduction

1.1 European development

Since 1975 a committee of the CEN assembled for standardization purposes has been working on the technical basis for a European cement standard. The emphasis was initially on developing test standards. The very different test methods used for determining cement parameters in the individual countries had to be unified and then tested in interlaboratory trials. The result of this was the series of EN 196 test standards (see Fig. 1). With the exception of ENV 196-4 "Quantitative determination of constituents" and the test methods for hydration heat the Parts have, since March 1990, been adopted as binding DIN standards. Since then some of them have been revised editorially and were reissued in May 1995. The majority of other countries have also adopted these test methods so that in Europe today the same test methods are used extensively for determining cement parameters.

Preparation of the actual European cement standard ran into fairly major obstacles. One important reason for this lay in the fact that, depending on the sources of raw materials and traditions, the individual countries in Europe manufacture very different types of cement. Portland cement is produced in every country, but in proportions varying from about 10 to 100 % of the total production. Throughout

Tafel 1 Zementarten und Zusammensetzung nach ENV 197-1: 1992; in DIN 1164-1 genormte Zementarten sind schraffiert gekennzeichnet
Table 1 Cement types and compositions as specified in ENV 197-1: 1992; the cement types standardized in DIN 1164-1 are shaded

Zementart /Cement type			Hauptbestandteile außer Klinker Main constituents besides clinker	
Hauptart Main type	Benennung/Designation	Kurzzeichen Notation	Art/Type	Anteil Proportion in %
CEM I	Portlandzement Portland cement	CEM I	–	0
CEM II	Portlandhüttenzement Portland-slag cement	CEM II/A-S	Hüttsand (S)	6 – 20
		CEM II/B-S	Granuliertes blastfurnace slag (S)	21 – 35
	Portlandsilikastaubzement Portland-silica fume cement	CEM II/A-D	Silikastaub (D) Silica fume (D)	6 – 10
	Portlandpuzzolanzement Portland-pozzolana cement	CEM II/A-P	Natürliches Puzzolan (P)	6 – 20
		CEM II/B-P	Natural pozzolana (P)	21 – 35
		CEM II/A-Q	Industrielles Puzzolan (Q)	6 – 20
		CEM II/B-Q	Industrial pozzolana (Q)	21 – 35
	Portlandflugaschezement Portland-fly ash cement	CEM II/A-V	Kieselsäurereiche Flugasche (V)	6 – 20
		CEM II/B-V	Siliceous fly ash (V)	21 – 35
		CEM II/A-W	Kalkreiche Flugasche (W)	6 – 20
		CEM II/B-W	Calcareous fly ash (W)	21 – 35
	Portlandschieferzement Portland-burnt shale cement	CEM II/A-T	Gebrauntes Schiefer (T)	6 – 20
		CEM II/B-T	Burnt shale (T)	21 – 35
	Portlandkalksteinzement Portland-limestone cement	CEM II/A-L	Kalkstein (L)	6 – 20
CEM II/B-L		Limestone (L)	21 – 35	
Portlandkompositzement Portland-composite cement	CEM II/A-M	Alle / all (S, D, P, Q, V, W, T, L)	6 – 20	
	CEM II/B-M ¹⁾		21 – 35	
CEM III	Hochofenzement Blastfurnace cement	CEM III/A	Hüttsand (S) Granuliertes blastfurnace slag (S)	36 – 65
		CEM III/B		66 – 80
		CEM III/C		81 – 95
CEM IV	Puzzolanzement Pozzolanic cement	CEM IV/A	Puzzolane (D, P, Q, V)	11 – 35
		CEM IV/B	Pozzolanas (D, P, Q, V)	36 – 55
CEM V	Kompositzement Composite cement	CEM V/A	Hüttsand (S) und Puzzolane (P, Q, V) Granuliertes blastfurnace slag (S) and pozzolanas (P, Q, V)	36 – 60
		CEM V/B		61 – 80

¹⁾ In DIN 1164-1 wurde nur Portlandflugaschehüttenzement CEM II/B-SV genormt
In DIN 1164-1 only Portland-fly ash-slag cement CEM II/B-SV is standardized

Tafel 2 Zementarten und Zusammensetzung nach DIN 1164-1

Table 2 Cement types and compositions as specified in DIN 1164-1

Massenanteile in Prozent / Proportion by mass ¹⁾

Zementart / Cement type				Hauptbestandteile / Main constituents						Nebenbestandteile Minor additional constituents ²⁾
Hauptart Main type	Benennung / Designation	Kurzzeichen Notation (neu / new)	Kurzzeichen Notation (alt / old)	Portlandzement- klinker Portland cement clinker K	Hütten- sand Granulated blast- furnace slag S	Natür- liches Puzzolan Natural pozzolana P	Kiesel- säurereiche Flugasche Siliceous fly ash V	Gebrannter Schiefer Burnt shale T	Kalkstein Limestone L	
CEM I	Portlandzement Portland cement	CEM I	PZ	95 – 100	–	–	–	–	–	0 – 5
CEM II	Portlandhüttenzement Portland-slag cement	CEM II/A-S	EPZ	80 – 94	6 – 20	–	–	–	–	0 – 5
		CEM II/B-S		65 – 79	21 – 35	–	–	–	–	0 – 5
	Portlandpuzzolanement Portland-pozzolana cement	CEM II/A-P	TrZ	80 – 94	–	6 – 20	–	–	–	0 – 5
		CEM II/B-P		65 – 79	–	21 – 35	–	–	–	0 – 5
	Portlandflugaschezement Portland-fly ash cement	CEM II/A-V	FAZ	80 – 94	–	–	6 – 20	–	–	0 – 5
	Portlandölschieferzement Portland-oil shale cement	CEM II/A-T	PÖZ	80 – 94	–	–	–	6 – 20	–	0 – 5
		CEM II/B-T		65 – 79	–	–	–	21 – 35	–	0 – 5
	Portlandkalksteinement Portland-limestone cement	CEM II/A-L	PKZ	80 – 94	–	–	–	–	6 – 20	0 – 5
Portlandflugaschehüttenzement Portland-fly ash-slag cement	CEM II/B-SV	FAHZ	65 – 79	10 – 20	–	10 – 20	–	–	0 – 5	
CEM III	Hochofenzement Blastfurnace cement	CEM III/A	HOZ	35 – 64	36 – 65	–	–	–	–	0 – 5
		CEM III/B		20 – 34	66 – 80	–	–	–	–	0 – 5

¹⁾ Die in der Tabelle angegebenen Werte beziehen sich auf die aufgeführten Haupt- und Nebenbestandteile des Zements ohne Calciumsulfat und Zementzusatzmittel.

The values in the table refer to the cement nucleus, excluding calcium sulfate and any additives.

²⁾ Nebenbestandteile können Füller sein oder ein oder mehrere Hauptbestandteile, soweit sie nicht Hauptbestandteile des Zements sind.

Minor additional constituents may be filler or may be one or more of the main constituents unless these are included as main constituents in the cement.

neue DIN 1164-1 gültige Grundsatz aufrechterhalten, in eine deutsche Zementnorm nur solche Zemente aufzunehmen, die unter den in Deutschland vorherrschenden Klima- und Anwendungsbedingungen im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit vergleichbare Merkmale aufweisen. Abgesehen von der getroffenen Einschränkung in der Anzahl genormter Zemente wurden in die neue DIN 1164-1 fast ausnahmslos die Regelungen der europäischen Vornorm übernommen. Dies gilt nicht nur für den formalen Aufbau, sondern auch für die Festlegung der Festigkeitsklassen und der Zementbezeichnungen, letzteres Eingeständnisse an die europäische Konsensfindung.

Ähnlich wie Deutschland haben auch die meisten anderen Länder Europas große Teile der europäischen Vornorm ENV 197-1 in die nationale Zementnorm übernommen. Durch diese Überarbeitung der nationalen Zementnormen haben sich die Anforderungen an Zement und die zugehörigen Zementbezeichnungen in Europa stark aneinander angeglichen. Für den mengenmäßig überwiegenden Teil der in Europa hergestellten Zemente gelten nunmehr gleiche Anforderungen und Bezeichnungen. Eine von allen Ländern getragene Normung der restlichen Zemente und die Lösung der damit verbundenen Fragen wird weitere Zeit in Anspruch nehmen. Deshalb kann davon ausgegangen werden, daß DIN 1164-1 in ihrer jetzigen Form noch einige Jahre Bestand haben wird, bevor eine einheitliche europäische Norm diese Norm einmal ersetzen wird.

2 Zementarten und -bezeichnungen

Die neue DIN 1164-1 umfaßt zwölf Zementarten, die entsprechend der Klassifikation in der europäischen Vornorm den drei Hauptarten

CEM I: Portlandzemente

CEM II: Portlandkompositzemente

CEM III: Hochofenzemente

zugeordnet sind (Tafel 2).

Neben den bisher bereits durch DIN 1164 Teil 1 erfaßten Zementarten Portlandzement, Eisenportlandzement, Hochofenzement, Traßzement und Portlandölschieferzement wurden drei weitere Portlandkompositzemente, der Portlandflugaschezement, der Portland-

Europe, i.e. in the EC and EFTA countries, the proportion of this type of cement is about 50 %, and in Germany is about 75 %. Cements containing granulated blastfurnace slag are manufactured in about two thirds of the European countries, but the total tonnage amounts to hardly more than 15 % of the total quantity of cement. Sales of cements with natural or industrial pozzolans are of a similar order of magnitude. Portland-limestone cements are gaining increasing importance. A total of 25 different types of cement rated as traditional and well tried – though in some cases only in limited regions – and therefore had to be included in the standardization. The task was to develop a performance-related classification for all cements which took account not only of the strength but also the durability of the concretes manufactured from them. Because of the regional differences the preparation of the European prestandard ENV 197-1: 1992 [1] did not solve these problems. The lack of performance-related classification was the reason why the German "Cement" standardization committee did not approve this prestandard.

In spite of this deficiency the European cement standard was able to achieve definitions which are consistent throughout Europe for the types of cement (Table 1), for the compositions on which they are based, and for the cement strength classes. In addition to this, all the cement constituents used are defined consistently and in each case are subject to the same requirements. Further progress in harmonization was achieved by the fact that there were now consistent definitions for the requirements for the chemical, physical and mechanical cement properties which are relevant to building practice.

1.2 German development

During the revision of DIN 1164 the "Cement" standardization committee aimed to adopt the regulations of the European prestandard as far as was possible, but with the proviso that only those cements for which the performance features relating to building practice could be assessed beyond any doubt, and which had proven application in Germany, were to be adopted into the German standard. These are the cements which were already standardized in the previous DIN 1164 Part 1, and also those cements previously approved by the building authorities. Because of these criteria, only those cements

flugaschehüttenzement sowie der Portlandkalksteinzement, in die Norm aufgenommen. Damit finden kieselsäurereiche Flugasche sowie Kalkstein als weitere Hauptbestandteile Berücksichtigung. Für diese Zemente bestanden bauaufsichtliche Zulassungen, und zwar seit 1978 für Flugaschezement, seit 1983 für Flugaschehüttenzement und seit 1986 für Portlandkalksteinzement. Die zur Erlangung der bauaufsichtlichen Zulassung durchgeführten umfangreichen Prüfungen und Bewertungen durch Sachverständigengremien sowie die seit etwa einem Jahrzehnt gesammelten Erfahrungen in der praktischen Anwendung dieser Zemente ließen einer Normung nichts mehr entgegenstehen [3 bis 8].

Portlandzement enthält als Hauptbestandteil ausschließlich Portlandzementklinker und entspricht damit unverändert den bisherigen Festlegungen in DIN 1164. Portlandkompositzemente enthalten neben Portlandzementklinker zwischen 6 und 35 M.-%, beim Portlandkalkstein- und beim Portlandflugaschezement nur zwischen 6 und 20 M.-% weitere Hauptbestandteile. In der Zementbezeichnung wird zwischen CEM II/A mit mindestens 80 M.-% und CEM II/B mit mindestens 65 M.-% Portlandzementklinker unterschieden. Die außer Portlandzementklinker verwendeten Hauptbestandteile werden durch Angabe im Zementnamen, z.B. Portlandkalksteinzement bei Verwendung von Kalkstein, sowie eines entsprechenden Kennbuchstabens in der Zementbezeichnung kenntlich gemacht. Die Kennbuchstaben der Hauptbestandteile von Zement sind:

- K für Portlandzementklinker
- S für Hüttsand (engl.: blastfurnace slag)
- P für natürliches Puzzolan, z.B. Traß
- T für gebrannten (Öl-)Schiefer (engl.: Burnt shale)
- V für kieselsäurereiche Flugasche (franz.: Cendre volantes)
- L für Kalkstein (engl.: Limestone).

So wird beispielsweise für Portlandkalksteinzement das Kurzzeichen „CEM II/A-L“ verwendet. Der Portlandflugaschehüttenzement enthält in Summe bis zu 35 M.-% kieselsäurereiche Flugasche (V) und Hüttsand (S) und wird demzufolge mit Kurzzeichen CEM II/B-SV bezeichnet.

Die Hochofenzemente (CEM III) entsprechen den bisherigen Festlegungen in DIN 1164 mit der Erweiterung, daß nunmehr eine Unterscheidung zwischen Hochofenzementen mit mittlerem Hüttsandgehalt (CEM III/A) und hohem Hüttsandgehalt (CEM III/B) getroffen wird und daß die Grenze zwischen diesen bei einem Hüttsandgehalt von 65 M.-% gezogen wurde.

Mit dieser Erweiterung der in DIN 1164 aufgenommenen Zementarten wird die Anzahl bauaufsichtlich zugelassener Zemente in erheblicher Weise reduziert. Die Zulassung bleibt weiterhin erforderlich z.B. für Traßzemente, wenn der Traßanteil oberhalb der für Portlandpuzzolanzemente festgelegten Grenze von maximal 35 M.-% liegt, für Traßhochofenzemente und u.U. für andere Portlandkompositzemente mit Zuschlagstoffanteilen außerhalb der in der Norm vorgegebenen Grenzen.

3 Anforderungen an die Zementbestandteile

3.1 Einführung

Die einsetzbaren Zementbestandteile und die an sie zur Erzielung der erforderlichen Zementeigenschaften zu stellenden Anforderungen wurden europäisch intensiv diskutiert. Als Ergebnis dieser Diskussion enthält auch die neue DIN 1164-1 im Vergleich zur bisherigen Norm klarere Festlegungen für die einzelnen Zementbestandteile. Hauptbestandteile sind mit einem Anteil von mehr als 5 M.-% im Zement enthalten, Nebenbestandteile zu einem Anteil bis maximal 5 M.-%. Darüber hinaus gibt es Calciumsulfat zur Erstarungsregelung und Zementzusatzmittel, deren Anteil bei der Angabe der Zusammensetzung nicht berücksichtigt wird (Tafel 2).

Haupt- und Nebenbestandteile können nach ihren wesentlichen Eigenschaften in hydraulisch, latent-hydraulisch und puzzolanisch reagierende Stoffe unterteilt werden. Darüber hinaus gibt es, wie z.B. mit gebranntem Ölschiefer, Stoffe, die mehrere dieser Merkmale in sich vereinigen. Stoffe, die keine dieser Eigenschaften aufweisen, werden als inert bezeichnet. Hierzu zählt der Kalkstein. Puzzolanisch reagierende Stoffe können natürlicher (z.B. Traß) oder industrieller Herkunft (z.B. getemperter Phonolit) sein. In der deutschen Zementnorm sind als Hauptbestandteile jedoch nach wie vor nur die

which are shaded in Table 1 were selected for standardization in DIN 1164-1 [2]. This selection also maintains the basic principle applying to the new DIN 1164-1 of adopting into a German cement standard only those cements which have comparable durability features under the conditions of climate and usage prevailing in Germany. Apart from the restriction made to the number of standardized cements, the regulations of the European prestandard have, almost without exception, been adopted into the new DIN 1164-1. This applies not only to the formal composition, but also to the definitions of the strength classes and the cement designations, the latter being concessions to the European consensus which has been reached.

Like Germany, the majority of other European countries have also adopted large sections of the European prestandard ENV 197-1 into their national cement standards. This revision of the national cement standards has caused a sharp convergence in Europe of the specifications for cement and of the associated cement designations. The same specifications and designations now apply to the great majority, in terms of quantity, of the cements manufactured in Europe. It will take more time to achieve a standardization of the other cements which is supported by all the countries, and to find solutions to the associated problems. It can therefore be assumed that DIN 1164-1 will continue for some years in its current form before it is one day replaced by a unified European standard.

2 Cement types and designations

The new DIN 1164-1 covers twelve types of cement (see Table 2) which, in accordance with the classification in the European prestandard, are assigned to the three main types

- CEM I: Portland cements
- CEM II: Portland-composite cements
- CEM III: Blastfurnace cements

In addition to the types of cement previously covered by DIN 1164, Part 1, namely Portland cement, Portland-slag cement, blastfurnace cement, trass cement and Portland-oil shale cement, three other Portland-composite cements, namely Portland-fly ash cement, Portland-fly ash-slag cement, and Portland-limestone cement, have also been included in the standard. This means that siliceous fly ash and limestone are also considered as additional main constituents. These cements have had building inspectorate approval – since 1978 for fly ash cement, since 1983 for fly ash-slag cement, and since 1986 for Portland-limestone cement. The extensive tests and evaluations carried out by specialist committees to get building inspectorate approval and the experience gathered over about a decade in the practical usage of these cements mean that there can be no further objections to their standardization [3 to 8].

Portland cement contains exclusively Portland cement clinker as its main constituent and therefore corresponds, unchanged, to the previous provisions in DIN 1164. Portland-composite cements contain, in addition to Portland cement clinker, between 6 and 35 % by mass of other main constituents – only between 6 and 20% for Portland-limestone cement and Portland-fly ash cement. The cement designation differentiates between CEM II/A with at least 80 % by mass and CEM II/B with at least 65 % by mass Portland cement clinker. The main constituents used apart from Portland cement clinker are indicated by information in the cement name, e.g. Portland-limestone cement when using limestone, as well as a corresponding letter in the cement designation. The code letters for the main constituents of cement are:

- K for Portland cement clinker (German: Klinker)
- S for granulated blastfurnace slag
- P for natural pozzolana, e.g. trass
- T for burnt (oil) shale
- V for siliceous fly ash (French: Cendre volantes)
- L for limestone

The abbreviation “CEM II/A-L”, for example, is used for Portland-limestone cement. Portland-fly ash-slag cement contains a total of up to 35 % by mass siliceous fly ash (V) and blastfurnace slag (S), and is therefore indicated by the abbreviation CEM II/B-SV.

The blastfurnace cements (CEM III) correspond to the previous provisions in DIN 1164 with the addition that a distinction is now made between blastfurnace cements with medium blastfurnace slag content (CEM III/A) and with high blastfurnace slag content (CEM III/B) and that the boundary between these has been drawn at a blastfurnace slag content of 65 % by mass.

natürlichen Puzzolane verankert. Kieselsäurereiche Flugaschen weisen ebenfalls puzzolanische Eigenschaften auf. Sie werden jedoch in einem gesonderten Abschnitt der Norm behandelt.

3.2 Hauptbestandteile

3.2.1 Portlandzementklinker (K)

Portlandzementklinker wird durch Brennen eines homogenisierten Rohstoffgemisches (Rohmehl) mit definierter Zusammensetzung bis zur Sinterung in technischen Ofenanlagen unterschiedlicher Bauart hergestellt. Die hydraulischen Eigenschaften beruhen im wesentlichen auf der Bildung der Klinkerphasen Tricalcium- und Dicalciumsilikat (C_3S bzw. C_2S), Tricalciumaluminat (C_3A) und aluminatferritischen Phasen ($C_2(A,F)$). Der Gehalt an MgO darf aus Gründen der Raumbeständigkeit, wie bisher, 5 M.-% nicht überschreiten.

3.2.2 Hüttensand (S)

Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke) zählt zu den traditionellen und zeitlich mit am längsten verwendeten Hauptbestandteilen des Zements [9]. Kennzeichnend für diesen Stoff sind dessen latent-hydraulische Eigenschaften, die bei geeigneter Anregung durch Calciumhydroxid, Alkalien oder Calciumsulfate zu einer hydraulischen Erhärtung führen. Um diese Eigenschaften zu erreichen, muß das gegenüber der alten Zementnorm modifizierte Massenverhältnis $(CaO+MgO)/SiO_2$ im Hüttensand mindestens eins betragen. Daneben muß der Hüttensand nach Massenanteilen zwei Drittel glasig erstarrte Schlacke enthalten.

3.2.3 Natürliche Puzzolane (P)

Bei den natürlichen Puzzolanen handelt es sich um kieselsäurereiche, alumo-silikatische Stoffe meist vulkanischen Ursprungs mit geringem CaO-Gehalt, die nach sachgerechter Auswahl, Feinmahlung und Homogenisierung nicht mehr selbständig, sondern in Gegenwart von Calciumhydroxid ($Ca(OH)_2$) unter Bildung von festigkeitsbildenden Calciumsilikat- und -aluminhydraten hydraulisch reagieren können. Wesentliches Qualitätsmerkmal von natürlichen Puzzolanen ist demnach der Gehalt an reaktionsfähiger Kieselsäure (SiO_2) von mindestens 25 M.-%, aber auch von reaktionsfähigem Aluminiumoxid (Al_2O_3). Zu den natürlichen Puzzolanen zählt in Deutschland der Traß nach DIN 51043.

3.2.4 Kieselsäurereiche Flugasche (V)

Die europäische Vornorm für Zement unterscheidet bei den durch elektrostatistische oder mechanische Abscheidung aus Rauchgasen von Kohlestaubfeuerungen erhaltenen Flugaschen alumo-silikatische und silikatisch-kalkhaltige Arten. In DIN 1164-1 wurden ausschließlich die alumo-silikatischen, d.h. kieselsäurereichen, puzzolanisch reagierenden Flugaschen als Hauptbestandteil zur Herstellung von Portlandkompositzementen aufgenommen. Der Gehalt an reaktionsfähiger Kieselsäure muß größer als 25 M.-% sein. Bei den für die Zementherstellung geeigneten kieselsäurereichen Flugaschen ist der Glühverlust auf 5 M.-% begrenzt, um insbesondere den Frostwiderstand daraus hergestellter Betone nicht zu beeinträchtigen. Der Anteil an reaktionsfähigem CaO muß im Regelfall kleiner als 5 M.-% sein. Steinkohlenflugaschen können allerdings auch dann verwendet werden, wenn der Gehalt an reaktionsfähigem CaO zwischen 5 und 10 M.-% liegt. Der Gehalt an freiem Kalk muß dann aber aus Gründen der Raumbeständigkeit kleiner als 1,5 M.-% sein. Maßgebend für die bautechnischen Eigenschaften von kieselsäurereichen Flugaschen sind darüber hinaus die Kornfeinheit, die Kornmorphologie, die Dichte und der Gehalt an Glasphasen, für die es jedoch keine Anforderungen in der Norm gibt. Kornfeinheit, Kornform und Dichte können vor allem den Wasseranspruch und die Konsistenz von Mörtel und Beton beeinflussen. Glasgehalt und Glaszusammensetzung sind neben der Feinheit maßgebend für die puzzolanische Reaktionsfähigkeit.

3.2.5 Gebrannter (Öl-)Schiefer (T)

Hauptbestandteil zur Herstellung von Portlandölschieferzement ist der in einem gesonderten Prozeß bei etwa 800 °C gebrannte Ölschiefer. Bedingt durch die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und das Herstellungsverfahren enthält gebrannter Ölschiefer außer größeren Anteilen an puzzolanisch sehr reaktiven Oxiden

This extension of the types of cement included in DIN 1164 will greatly reduce the number of cements needing approval by the building inspectorate. Approval will, for example, remain necessary for trass cement if the proportion of trass is higher than the maximum limit of 35 % by mass laid down for Portland-pozzolana cements, for trass-blastfurnace cements and, under some circumstances, for other Portland-composite cements with proportions of interground additives outside the limits specified in the standard.

3 Specifications for the cement constituents

3.1 Introduction

There was intensive European discussion over the cement constituents which can be used and the specifications to be set for them to achieve the required cement properties. As a result of this discussion the new DIN 1164-1 also contains provisions for the individual cement constituents which are clearer than in the previous standard. Main constituents are contained in the cement in a proportion of more than 5 % by mass, and minor additional constituents up to a maximum proportion of 5 % by mass. In addition to this there is also calcium sulfate for controlling the setting and cement additives, the proportions of which are not taken into account when specifying the composition (Table 2).

On the basis of their essential properties main and minor additional constituents can be subdivided into substances with hydraulic, latent-hydraulic and pozzolanic reactions. In addition to this there are, as in the case of burnt oil shale, substances which combine several of these features. Substances which do not exhibit any of these properties are termed inert. This includes limestone. Substances with pozzolanic reactions can be of natural (e.g. trass) or industrial origin (e.g. tempered phonolite). As in the past, the German cement standard only incorporates natural pozzolanas as main constituents. Siliceous fly ash also exhibits pozzolanic properties, but is dealt with in a separate section of the standard.

3.2 Main constituents

3.2.1 Portland cement clinker (K)

Portland cement clinker is manufactured by burning a homogenized raw material mix (raw meal) of defined composition to sintering in industrial kiln systems of various designs. The hydraulic properties are based essentially on the formation of the clinker phases tricalcium silicate and dicalcium silicate (C_3S and C_2S), tricalcium aluminate (C_3A) and aluminoferrite phases ($C_2(A,F)$). As before, the content of MgO shall not, for reasons of soundness, exceed 5 % by mass.

3.2.2 Granulated blastfurnace slag (S)

Granulated blastfurnace slag is one of the traditional main constituents of cement, and one of the ones that has been longest in use [9]. The characteristic features of this substance are its latent-hydraulic properties which, when suitably activated by calcium hydroxide, alkalis or calcium sulfates, lead to hydraulic hardening. In order to achieve these properties the mass ratio $(CaO + MgO)/(SiO_2)$, which has been modified when compared with the old standard, shall be at least one. In addition, the granulated blastfurnace slag shall contain at least two thirds by mass of glassy slag.

3.2.3 Natural pozzolanas (P)

Natural pozzolanas are siliceous or silico-aluminous materials, usually of volcanic origin, with a low CaO content. When selected correctly, finely ground and homogenized, they can react hydraulically, not independently but in the presence of calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$), with the formation of strength-developing calcium silicate and aluminate hydrates. An essential quality feature of natural pozzolanas is therefore the content of reactive silica (SiO_2) of at least 25 % by mass, but also of reactive alumina (Al_2O_3). Trass as specified in DIN 51043 is classified as natural pozzolana in Germany.

3.2.4 Siliceous fly ash (V)

For fly ash obtained by electrostatic or mechanical precipitation from flue gases from furnaces fired with pulverized coal the European prestandard for cement differentiates between silico-aluminous and silico-calcareous types. DIN 1164-1 has only included the silico-aluminous, i.e. siliceous, fly ash with pozzolanic properties as a main

Klinkerphasen wie Dicalciumsilikat (C_2S) und Monocalciumaluminat (CA) und daneben geringere Mengen an freiem, weich gebranntem CaO und an Calciumsulfat. Kennzeichnend ist, daß gebrannter Ölschiefer im feingemahlenden Zustand sowohl hydraulische als auch pozzolanische Eigenschaften aufweist, die auf Grund der Zusammensetzung von selbst angeregt werden können. Dementsprechend müssen Qualität und Leistungsfähigkeit für den feingemahlenden gebrannten Ölschiefer gesondert nachgewiesen werden. Die nach DIN EN 196-1 durchgeführte Festigkeitsprüfung an einem Normmörtel, der anstelle des Zements den gleichen Massenanteil gebrannten Ölschiefers enthält, muß, wie bisher, nach 28 Tagen eine Druckfestigkeit von mindestens 25 N/mm² ergeben. Außerdem ist die Raumbeständigkeit nach DIN EN 196-3 nachzuweisen.

3.2.6 Kalkstein (L)

Die Verwendung von Kalkstein als Hauptbestandteil in Portlandkalksteinzement ist an drei Anforderungen geknüpft. Kalkstein wird als geeignet angesehen, wenn der $CaCO_3$ -Gehalt mindestens 75 M.-% beträgt, durch den Tongehalt höchstens 1,20 M.-% des Farbstoffs Methylenblau adsorbiert werden und die Bestimmung des Gehalts an organischen Bestandteilen (TOC) einen Wert von höchstens 0,20 M.-% aufweist. Umfangreiche Voruntersuchungen, die im Rahmen eines Forschungsvorhabens durchgeführt wurden [5, 6], haben gezeigt, daß unter Beachtung dieser Anforderungen insbesondere der Frostwiderstand von Mörtel und Beton nicht beeinträchtigt wird, wenn Kalkstein als Hauptbestandteil bis zu 20 M.-% zum Einsatz kommt. Bestätigt wurden diese Ergebnisse in ihrer baupraktischen Gültigkeit durch eine Vielzahl von Zulassungsprüfungen und durch die in zehnjähriger praktischer Anwendung gesammelten Erfahrungen.

3.3 Nebenbestandteile

Bei den Nebenbestandteilen handelt es sich um besonders ausgewählte, natürliche oder künstliche anorganische mineralische Stoffe, die Zemente nach DIN 1164-1 in Mengen bis zu maximal 5 M.-% enthalten dürfen. Sie dienen auf Grund ihrer Kornverteilung vor allem der Verbesserung der Verarbeitbarkeit und des Wasserrückhaltevermögens. Hierbei kann es sich um inerte, aus dem Werkbetrieb stammende Füller oder um Stoffe mit latent-hydraulischen und pozzolanischen Eigenschaften handeln, sofern der jeweilige Stoff nicht gleichzeitig als Hauptbestandteil verwendet wird. Von den Nebenbestandteilen wird darüber hinaus gefordert, daß sie nach sachgerechter Auswahl, Aufbereitung und Homogenisierung im Zement den Wasserbedarf nicht erhöhen und die Dauerhaftigkeit und den Korrosionsschutz nicht beeinträchtigen.

3.4 Calciumsulfat

Der Zusatz von Calciumsulfaten dient der Regelung des Erstarrungsverhaltens der Zemente. Die Zusatzmenge ist durch den jeweils zulässigen SO_3 -Gehalt der Zemente begrenzt. Je nach hydraulischer Reaktivität vor allem des Klinkeranteils hat es sich als zweckmäßig erwiesen, den Gehalt der Sulfatträger Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), Halbhydrat ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$) oder Anhydrit II ($CaSO_4$) nach Art und Menge so einzustellen, daß der Wasseranspruch ein Minimum und die Erstarrungszeit ein Maximum aufweisen [10]. Die neue DIN 1164-1 regelt eindeutig, daß neben natürlichem Gips und Anhydrit auch aus industriellen Prozessen stammende Sulfatträger verwendet werden können.

3.5 Zementzusatzmittel

Zu Zementzusatzmitteln, deren Anteil 1 M.-% nicht überschreiten sollte, zählen Stoffe, die weder Haupt- noch Nebenbestandteil sind. Sie dienen z. B. als Mahlhilfsmittel der Optimierung des Mahlprozesses und Erhöhung der Fließfähigkeit von Zementen hoher Mahlfineinheit oder gelegentlich auch der Verbesserung der Lagerfähigkeit im Silo. Art und Menge der Zementzusatzmittel sind für jeden Zement so zu wählen, daß der Korrosionsschutz der Bewehrung nicht beeinträchtigt wird. Dies ist durch elektrochemische Prüfungen nachzuweisen. Der Zementhersteller hat sicherzustellen, daß die von ihm verwendeten Zementzusatzmittel die Eigenschaften des mit dem Zement hergestellten Betons oder Mörtels nicht nachteilig beeinflussen. Solange die Auswirkungen einzelner Zementzusatzmittel auf die Zementeigenschaften nicht umfassend untersucht oder durch

constituent for manufacturing Portland-composite cements. The content of reactive silica must be greater than 25 % by mass. With siliceous fly ash suitable for cement manufacture the loss on ignition is restricted to 5 % by mass so that, in particular, the freeze-thaw resistance of concretes produced from it is not impaired. As a rule the proportion of reactive CaO shall be less than 5 % by mass. Coal fly ash can, however, also be used when the content of reactive CaO lies between 5 and 10% by mass, but the content of free lime shall then, for reasons of soundness, be less than 1.5 % by mass. The structural properties of siliceous fly ash are also determined by the particle fineness, the particle morphology, the density and the content of glassy phases, for which, however, the standard does not give any specifications. Fineness, particle shape and density chiefly affect the water demand and the consistency of mortar and concrete. Glass content and glass composition are, together with fineness, the factors which determine the pozzolanic reactivity.

3.2.5 Burnt (oil) shale (T)

The main constituent for the manufacture of Portland-oil shale cement is oil shale burnt in a separate process at about 800°C. Owing to the composition of the starting material and the production process burnt oil shale contains not only large proportions of pozzolanically very reactive oxides but also clinker phases such as dicalcium silicate (C_2S) and monocalcium aluminate (CA) as well as smaller quantities of free, soft-burnt, CaO and of calcium sulfate. A characteristic feature is that, in a finely ground state, burnt oil shale exhibits both hydraulic and pozzolanic properties which, because of the composition, can be self-activating. The quality and performance of the finely ground, burnt oil shale must therefore be established separately. The strength testing carried out in accordance with EN 196-1 on a standard mortar which, instead of cement, contains the same proportion by mass of burnt oil shale shall, as in the past, produce a compressive strength of at least 25 N/mm² after 28 days. The soundness shall also be established in accordance with EN 196-3.

3.2.6 Limestone (L)

The use of limestone as a main constituent in Portland-limestone cement is linked to three requirements. Limestone is regarded as suitable if the $CaCO_3$ content is at least 75 % by mass, the clay content adsorbs a maximum of 1.20 % by mass of methylene blue dye, and determination of the total organic carbon content (TOC) gives a maximum value of 0.20 % by mass. Extensive preliminary investigations carried out as part of a research project [5, 6] have shown that if these requirements are fulfilled the freeze-thaw resistance of mortar and concrete do not suffer when limestone is used as a main constituent up to 20 % by mass. The validity of this result in building practice has been confirmed by a large number of approval tests and the experience gathered during a decade of practical usage.

3.3 Minor additional constituents

The minor additional constituents are specially selected, natural or artificial, inorganic mineral materials which the cements conforming to DIN 1164-1 may contain in quantities up to a maximum of 5 % by mass. Because of their particle size distributions they serve mainly to improve workability and water retention. They can be inert fillers derived from the factory operation or materials with latent-hydraulic and pozzolanic properties, provided the material in question is not used at the same time as a main constituent. It is also a requirement that after proper selection, processing and homogenization in the cement, the minor additional constituent shall not increase the water demand nor impair the soundness or corrosion protection.

3.4 Calcium sulfate

The addition of calcium sulfates serves to control the setting behaviour of the cements. The quantity added in any given case is limited by the permissible SO_3 content in the cement. Depending on the hydraulic reactivity, chiefly of the clinker fraction, it has proved advisable to adjust the type and quantity of constituents containing calcium sulfate, namely gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), hemihydrate ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$) or anhydrite II ($CaSO_4$), to give minimum water demand and maximum setting time [10]. The new DIN 1164-1 gives a clear ruling that calcium sulfate derived from industrial processes can be used as well as natural gypsum and anhydrite.

Tafel 3 Festigkeitsklassen und Kennfarben von Zement nach DIN 1164-1

Table 3 Strength classes and identification colours of cements as specified in DIN 1164-1

Festigkeitsklasse Strength class	Druckfestigkeit / Compressive strength N/mm ²			Kennfarbe Identification colour	Farbe des Aufdrucks Colour of imprint
	Anfangsfestigkeit Early strength		Normfestigkeit Standard strength		
	2 Tage/days	7 Tage/days			
32,5	–	≥ 16	≥ 32,5 ≤ 52,5	hellbraun light brown	schwarz black
32,5 R	≥ 10	–			rot red
42,5	≥ 10	–	≥ 42,5 ≤ 62,5	grün green	schwarz black
42,5 R	≥ 20	–			rot red
52,5	≥ 20	–	≥ 52,5 –	rot red	schwarz black
52,5 R	≥ 30	–			weiß white

ausreichende Erfahrung belegt sind, dürfen solche Zementzusatzmittel nicht ohne entsprechende Nachweise, wie z.B. eine bauaufsichtliche Zulassung des daraus hergestellten Zements, verwendet werden.

4 Anforderungen an die Zemente

4.1 Festigkeit

Die neue DIN 1164-1 hat eine Änderung der bisher gewohnten Normfestigkeiten mit sich gebracht (Tafel 3). Die 28-Tage-Normfestigkeiten wurden in Anpassung an die europäischen Festlegungen um 2,5 N/mm² abgesenkt, wodurch sich die Festigkeitsklassen 32,5, 42,5 und 52,5 ergeben. Die drei Klassen werden nach ihrer Anfangsfestigkeit nochmals unterteilt in üblich erhärtende (ohne Kennbuchstaben) und schnell erhärtende Zemente (Kennbuchstabe R = rapid). Die Anforderungen an die Anfangsfestigkeit entsprechen dabei mit Ausnahme der Festigkeitsklasse 32,5 (ohne R), in der die erforderliche Anfangsfestigkeit von 18 auf 16 N/mm² abgesenkt wurde, den bisherigen Festlegungen. Neu in die Norm aufgenommen wurde ein Zement mit hoher Normfestigkeit (52,5), aber normaler Anfangsfestigkeit (siehe Bild 2). Zur besseren Unterscheidung auf der Baustelle sind die Festigkeitsklassen, wie bisher, durch eine entsprechende farbliche Gestaltung der Zementsäcke und Silozettel hervorzuheben (Tafel 3). Dabei haben sich, sieht man von der Farbe des Aufdrucks in der Festigkeitsklasse 52,5 R ab, keine Veränderungen ergeben.

Die Absenkung der Zementnormfestigkeit wird dadurch gemildert, daß die obere Festigkeitsgrenze nunmehr statistisch als 90 %-Fraktile anstatt wie bisher als 95 %-Fraktile festgelegt worden ist. Durch diese gegenüber der alten DIN 1164 weniger strenge statistische Definition der oberen Festigkeitsgrenze kann der bei der Herstellung angestrebte Mittelwert der Normfestigkeit etwas näher an die obere Festigkeitsgrenze herangeführt werden. Damit wird die Absenkung der oberen Festigkeitsgrenze um 2,5 N/mm² in ihrer Auswirkung auf das für die Zementverarbeitung wichtige mittlere Festigkeitsniveau teilweise kompensiert. Letzteres bleibt aber auch weiterhin durch die Anforderungen an die obere Normfestigkeit nicht nur nach unten, sondern auch nach oben begrenzt.

4.2 Physikalische und chemische Anforderungen

Bei den Anforderungen an die physikalischen und chemischen Zementeigenschaften konnten die Vorgaben der Europäischen Vornorm ENV 197-1 weitgehend übernommen werden, da sie dem

3.5 Additives

Additives, the proportions of which shall not exceed 1 % by mass, include substances which are neither main nor minor additional constituents. They serve, for example, as grinding aids to optimize the grinding process and increase the flowability of bulk cements with high fineness or also occasionally to improve their storage characteristics in silos. The type and quantity of the additives shall be chosen for each cement so that the corrosion protection of the reinforcement is not impaired. This shall be determined by electrochemical testing. The cement manufacturer shall ensure that the additives which he uses do not impair the properties of the concrete or mortar produced with the cement. Where the effects of individual additives on the cement properties have not been comprehensively tested or substantiated by sufficient experience such additives shall not be used without appropriate investigation such as, for example, approval by the building inspectorate for the cement produced from them.

4 Cement specifications

4.1 Strength

The new DIN 1164-1 has introduced a change to the previous customary cement strengths (Table 3). The 28-day standard strengths have been reduced by 2.5 N/mm² in conformity with the European provisions, resulting in the 32.5, 42.5 and 52.5 strength classes. The three classes are further subdivided on the basis of their early strengths into normally hardening (without a code letter) and rapid hardening cements (code letter R = rapid). The requirements for early strength correspond to the previous provisions, with the exception of strength class 32.5 (without R) for which the required early strength has been reduced from 18 to 16 N/mm². A cement with high standard strength (52.5) but ordinary early strength has been newly adopted into the standard (see Fig. 2). The strength classes shall, as before, be differentiated by appropriate coloured markings on the cement bags and silo labels to make them more distinctive on the building site (Table 3). This has not resulted in any changes with the exception of the colour of the imprint for strength class 52.5 R.

The lowering of the standard cement strength is mitigated by the fact that the upper strength limit has now been defined statistically as the 90% fractile instead of the previous 95 % fractile. Through this statistical definition of the upper strength limit, which is less strict than in the old DIN 1164, the target value for the average standard strength during manufacture can be brought somewhat closer to the upper strength limit. This partially compensates for the effect of reducing the upper strength limit by 2.5 N/mm² on the average strength level.

4.2 Physical and chemical requirements

The guidelines in the European prestandard ENV 197-1 have been extensively adopted for the requirements for the physical and chemical cement properties as they correspond approximately to those in the previous German cement standard. The requirements relate to an increased extent to direct performance features of the cements while specifications for descriptive parameters, such as for fineness (specific surface area, residue on 0.2 mm sieve), have been dropped. However, as in the past, the specific surface area shall still be determined by the manufacturer and the values shall be appropriately recorded. The specifications for the cement constituents and their proportions in the cement, which are more precisely formulated than in the old DIN 1164, mean that it has been possible to dispense with the specifications for CO₂ content in general, and for loss on ignition and insoluble residue for CEM II cements.

The limits for sulfate content have been adopted from the European prestandard. The absolute values remain unchanged from the old DIN 1164, however there have been shifts within the cement types and strength classes. Specific surface area does not represent a measure for assessing the sulfate addition required for optimizing setting behaviour, especially with Portland-composite cements, so the specification for sulfate content is no longer linked to the specific surface area of the cement but to the strength class and the type of cement. It must also be borne in mind that all chemical requirements now relate, as described in EN 196-2, to the samples as delivered and shall no longer be calculated on a loss-on-ignition-free basis.

At the request of the cement users the upper limit for the final setting time of twelve hours has been retained although there is no longer any corresponding requirement in ENV 197-1. However, as there is

bisherigen Stand der deutschen Zementnorm in etwa entsprechen. Die Anforderungen beziehen sich verstärkt auf unmittelbare Leistungsmerkmale der Zemente (Performance-Anforderungen), während Anforderungen an beschreibende Kennwerte, wie z.B. an die Mahlfeinheit (spezifische Oberfläche, Rückstand auf dem 0,2 mm-Sieb), entfallen konnten. Die spezifische Oberfläche ist aber nach wie vor durch den Hersteller zu ermitteln, und die Werte sind entsprechend aufzuzeichnen. Durch die gegenüber der alten DIN 1164 präzisier gefaßten Anforderungen an die Zementbestandteile und deren Anteil im Zement konnten die Anforderungen an den CO₂-Gehalt allgemein sowie an Glühverlust und unlöslichen Rückstand bei CEM II-Zementen entfallen.

Die Grenzen für den Sulfatgehalt wurden aus der europäischen Vornorm übernommen. Die Absolutwerte blieben dabei gegenüber der alten DIN 1164 unverändert, allerdings gab es Verschiebungen innerhalb der Zementarten und Festigkeitsklassen. Da insbesondere bei Portlandkompositzementen die spezifische Oberfläche kein Maß für die zur Optimierung des Erstarrungsverhaltens erforderliche Sulfatzugabe darstellt, ist die Anforderung an den Sulfatgehalt nicht mehr an die spezifische Oberfläche des Zementes, sondern an die Festigkeitsklasse sowie die Zementart gekoppelt. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß sich nunmehr alle chemischen Anforderungen, wie in DIN EN 196-2, Abschnitt 6 beschrieben, auf die Probe im Anlieferungszustand beziehen und nicht mehr glühverlustfrei zu rechnen sind.

Auf Wunsch der Verbraucher von Zement wurde die obere Grenze für das Erstarrungsende von zwölf Stunden beibehalten, obwohl in ENV 197-1 keine entsprechende Anforderung mehr vorgesehen ist. Da aber ein enger Zusammenhang zwischen Erstarrungsbeginn und -ende besteht, wurde gleichzeitig vereinbart, das Erstarrungsende nur in berechtigten Ausnahmefällen zu überprüfen. Auf eine Prüfung des Erstarrungsendes kann demnach verzichtet werden, wenn der Prüfwert für den Erstarrungsbeginn sechs Stunden nicht überschreitet. Weiterhin wurde für alle Zemente der Festigkeitsklasse 52,5 die untere Grenze für den Erstarrungsbeginn in Übereinstimmung mit der Europäischen Vornorm von 60 min auf 45 min abgesenkt.

4.3 Zemente mit Sondereigenschaften

Europäische Normen für Zemente mit Sondereigenschaften liegen noch nicht vor. An entsprechenden Entwürfen für Zemente mit hohem Sulfatwiderstand bzw. niedriger Hydratationswärme wird derzeit gearbeitet. Deshalb konnten die bisherigen Regelungen in DIN 1164-1 weitgehend fortgeschrieben werden (siehe Tafel 4). Neben Portlandzementen mit niedrigem C₃A-Gehalt gelten jetzt alle Hochofenzemente CEM III/B als HS-Zemente. Da die untere Grenze des Hüttensandgehalts für CEM III/B bei 66 M.-% liegt, bedeutet dies eine geringe Reduzierung des erforderlichen Hüttensandgehalts gegenüber dem bisher geforderten Wert von 70 M.-%. Die Berechtigung für diese Änderung basiert auf umfangreichen Untersuchungen, über die in [11] berichtet wurde. Da sich nach der neuen DIN 1164-1 die Anforderungen an die Zementzusammensetzung auf die Summe aller Haupt- und Nebenbestandteile beziehen (siehe Tafel 2), ist die mögliche Absenkung des Hüttensandgehalts bei CEM III/B-HS-Zementen, die Nebenbestandteile enthalten, geringer als 4 M.-%.

Weiterhin wurden die über viele Jahre in der Baustoffliste des Deutschen Instituts für Bautechnik erfaßten Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (NA) in die Zementnorm übernommen. Die Anforderungen wurden dahingehend erweitert, daß jetzt nicht nur Portlandzemente, sondern alle Zemente nach DIN 1164 mit höchstens 0,60 M.-% Na₂O-Äquivalent als NA-Zemente gelten. Daneben gelten weiterhin Hochofenzemente CEM III/A mit einem Hüttensandgehalt von mindestens 50 M.-% und einem Na₂O-Äquivalent von höchstens 1,10 M.-% und Hochofenzemente CEM III/B mit einem Na₂O-Äquivalent von höchstens 2,00 M.-% als NA-Zemente.

5 Einfluß des Zements auf die Eigenschaften von Mörtel und Beton

5.1 Allgemeines

Die vom Beton geforderten Eigenschaften wie Verarbeitbarkeit, Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Beständigkeit gegen chemische Angriffe werden durch die Eigenschaften der Ausgangsstoffe sowie

Tafel 4 Anforderungen an Zemente mit Sondereigenschaften nach DIN 1164-1

Table 4 Specifications for cements with special properties as specified in DIN 1164-1

Zement Cement	Eigenschaft Property	Zementart Cement type	Anforderung Requirement
NW (low-heat)	Hydratationswärme Heat of hydration	alle / all	≤ 270 J/g
HS	C ₃ A Gehalt / content	CEM I	≤ 3 M.-%
	Al ₂ O ₃ Gehalt / content		≤ 5 M.-%
(highly sulfate resisting)	Hüttensandgehalt Granulated blastfurnace slag content	CEM III/B	≥ 66 M.-%
NA (low-alkali)	Na ₂ O-Äquivalent Na ₂ O-equivalent	alle /all	≤ 0,60 M.-%
		CEM III/A ¹⁾	≤ 1,10 M.-%
		CEM III/B	≤ 2,00 M.-%

¹⁾ Nur wenn Zement mindestens 50 % Hüttensand enthält
Only when cement contains at least 50 % granulated blastfurnace slag

a close connection between initial and final setting times it has also been agreed that the final setting time shall only be checked in exceptional cases where it is justified. It is possible to dispense with measuring the final setting time if the measured value for the initial setting time does not exceed six hours. Furthermore, the lower limit for initial setting time for all cements in the 52.5 strength class has been reduced from 60 min to 45 min in conformity with the European prestandard.

4.3 Cements with special properties

There are as yet no European standards for cements with special properties. Work is currently being carried out on corresponding drafts for highly sulfate-resisting cements and those with low heat of hydration. There has therefore been extensive continued development of the previous regulations in DIN 1164-1 (see Table 4). In addition to Portland cements of low C₃A content all blastfurnace cements CEM III/B now count as HS (high sulfate-resisting) cements. As the lower limit for the granulated blastfurnace slag content for CEM III/B is 66 % by mass this means a slight reduction in the required granulated blastfurnace slag content when compared with the previously required value of 70 % by mass. The justification for this change is based on extensive investigations which have been reported in [11]. According to the new DIN 1164-1 the specifications for cement composition refer to the sum of all main and minor additional constituents and not only to the sum of main constituents as before (see Table 2). So the possible reduction in granulated blastfurnace slag content in CEM III/B-HS cements which contain minor additional constituents is less than 4 % by mass.

Cements with low effective alkali content, which for many years have been registered in the list of construction materials issued by the German Institute for Construction Technology, have also been adopted in the cement standard. The specifications have been extended so that now not only Portland cements, but all cements as specified in DIN 1164, with a maximum of 0.60 % by mass Na₂O equivalent, count as low-alkali cements. In addition to this blastfurnace cements CEM III/A with a granulated blastfurnace slag content of at least 50 % by mass and a maximum Na₂O equivalent of 1.10 % by mass, and blastfurnace cements CEM III/B with a maximum Na₂O equivalent of 2.00 % by mass, also count as low-alkali cements.

5 Influence of the cement on the properties of the mortar and concrete

5.1 General

The properties required of concrete, such as workability, strength, durability, and resistance to chemical attack, are influenced by the properties of the constituent materials and their compositions and in-

deren Zusammensetzung und Zusammenwirken im Beton beeinflusst. Für alle Anwendungen im Beton müssen die Zemente der Zementnorm DIN 1164 entsprechen. Mit den in DIN 1164-1 aufgenommenen Zementen können unter Beachtung der bestehenden Anwendungsregeln vergleichbar dauerhafte und beständige Betone hergestellt werden. Die erweiterte Anzahl von Zementarten und -festigkeitsklassen ermöglicht je nach den geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften eine gezielte Zementauswahl, womit den unterschiedlichen Einsatzgebieten des Betonbaus und Herstellweisen (Ortbeton, Werksfertigung) Rechnung getragen wird.

Bei der Ortbetonbauweise wird heute fast ausschließlich industriell hergestellter Frischbeton – mit einem Anteil von über 80 % ist dies Transportbeton – verwendet. Der Anteil der in Transportbetonwerken verarbeiteten Zemente ist mittlerweile auf 53 % der gesamten Zementproduktion angewachsen. Im Werksbereich werden derzeit 28 % und als Sackware nur noch etwa 13 % verarbeitet. Aus den Herstell- und Verarbeitungsbedingungen von Transportbeton einerseits und Werksbeton andererseits resultieren unterschiedliche Anforderungen an die Zementeigenschaften, insbesondere an das Ansteifverhalten und die Festigkeitsentwicklung [3, 12]. Trotz der Anwendungsvielfalt ist ein Hauptmerkmal für die Zementqualität die Unempfindlichkeit gegenüber schwankenden Verarbeitungsbedingungen und die Zuverlässigkeit der Festigkeitsentwicklung.

Der Nachweis der in den Abschnitten 2 und 4 erläuterten Einzelanforderungen an die Zemente erfolgt entweder direkt an Zementproben (Zusammensetzung und chemische Anforderungen) oder an Mörtel- bzw. Zementleimproben genormter Zusammensetzung (mechanische und physikalische Anforderungen). Die am Mörtel bzw. Zementleim nachzuweisenden mechanischen und physikalischen Anforderungen, wie Festigkeit und Erstarren, sind unmittelbare Leistungsmerkmale der Zemente (Performance-Kennwerte), die mit den wichtigsten Anforderungen an den Frisch- und Festbeton – Festigkeit und Verarbeitbarkeit – im Zusammenhang stehen [13]. Dieser Zusammenhang wird nicht nur durch den Zement, sondern auch durch die restlichen Betonausgangsstoffe und deren Zusammenwirken beeinflusst.

Bei der zielgerechten Betonherstellung ist einmal das Niveau von Einfluß, auf dem die mechanischen und physikalischen Zementeigenschaften im Mittel liegen, und zum anderen die Gleichmäßigkeit, mit der diese Mittelwerte bei der Herstellung eingehalten werden.

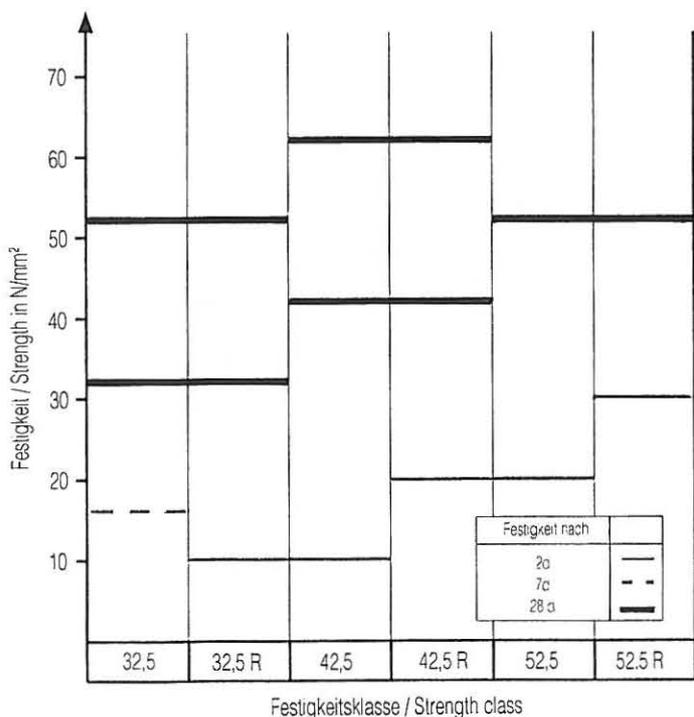


Bild 2 Anforderungen an die Festigkeit von Zement nach der neuen DIN 1164-1
Fig. 2 Specifications for the strength of cement in accordance with the new DIN 1164-1

Interactions in the concrete. The cements must comply with the DIN 1164 cement standard for all applications in concrete. Concretes of comparable durability and resistance can be produced with the cements included in DIN 1164-1 when the current provisions for use are fulfilled. The increased number of cement types and strength classes enables a carefully controlled selection of the cement to be made to suit the properties required of the fresh and hardened concrete, taking into account the different areas of application of concrete construction and different methods of production (in-situ concrete, prefabrication).

In-situ concrete construction now makes almost exclusive use of industrially produced fresh concrete – over 80% of this is ready-mixed concrete. The proportion of cements processed in ready-mixed concrete plants has now grown to 53% of the total cement production. At present 28% is processed in factories and only about 13% as bagged products. The production and application conditions for ready-mixed concrete on the one hand and precast concrete on the other result in different requirements for the cement properties, especially in stiffening behaviour and strength development [3, 12]. In spite of the diversity of applications one main feature of the cement quality is its lack of sensitivity to fluctuating application conditions and the dependability of its strength development.

The individual specifications for the cements described in Sections 2 and 4 are tested either directly on cement samples (composition and chemical specifications) or on samples of mortar or cement paste of standardized composition (mechanical and physical specifications). The mechanical and physical specifications which are tested on the mortar or cement paste, such as strength and setting times, are direct performance features of the cements (performance parameters) which are connected with the most important of the specifications for the fresh and hardened concrete – strength and workability [13]. This connection is influenced not only by the cement but also by the other concrete starting materials and their interactions.

The production of concrete is influenced by the level of the average mechanical and physical cement properties and by the uniformity with which these average values are maintained during manufacture. For the important cement parameters the cement standard lays down specifications, including both lower and upper limits for the standard strength (Fig. 2). However, it contains no provisions relating to the uniformity of the cement properties to be achieved. The effects on the uniformity of the cement parameters due to the natural fluctuations in the cement raw materials and due to the manufacturing process are now adequately restrained as part of the internal quality control by highly developed measuring, controlling, regulating and checking systems during cement manufacture [3]. The remaining variations are such as to allow concrete to be produced for specific purposes, as has been proved by extensive investigations reported, for example, in [14, 15]. Within one type of cement and one cement strength class the structural properties which are important for a clearly defined area of application are sometimes deliberately modified by, for example, a change in the composition. This is then as a rule identified for the cement user by an additional marking.

5.2 Structural properties

5.2.1 Setting times and water demand

The initial setting times of the cements of the 32.5 strength class predominantly used for in-situ concrete construction lie on average at comparable levels for all the types of cement covered by DIN 1164-1. Even the requirement for initial setting time ≥ 2 hours which has to be fulfilled for road concrete complying with "ZTV-Beton" can be met by cements in this strength class with few exceptions. The initial setting times of the higher 42.5 and 52.5 strength classes used predominantly in factory production lie, for the cements manufactured in Germany, only slightly below the values for the 32.5 strength class, so these cements can also be used without special measures in ready-mixed concrete, e.g. in high- or higher-strength concretes. Optimization of the constituents containing calcium sulfate described in Section 3.4 produces robust behaviour during stiffening and setting.

The water demand needed to achieve standard stiffness, which is determined with the initial setting time, has little or no connection with the most important workability characteristics of the concrete, such as consistency, water segregation or cohesive ability, as has been shown by many investigations [16]. The cohesive ability of the con-

Die Zementnorm legt für die maßgeblichen Zementkennwerte Anforderungskennwerte, für die Normfestigkeit dabei sowohl untere als auch obere Grenzen (Bild 2), fest. Sie enthält jedoch keine Festlegungen über die zu erzielende Gleichmäßigkeit der Zement-eigenschaften. Die durch die natürlichen Schwankungen in den Zementausgangsstoffen und durch den Herstellungsprozeß bedingten Auswirkungen auf die Gleichmäßigkeit der Zementkennwerte werden heute im Rahmen der internen Qualitätslenkung durch hochentwickelte Meß-, Steuerungs- und Regelungs- sowie Kontrolltechniken bei der Zementherstellung ausreichend beherrscht [3]. Die verbleibenden Streuungen erlauben eine zielgerechte Betonherstellung, was durch umfangreiche Untersuchungen nachgewiesen wurde, über die z.B. in [14, 15] berichtet wird. Verschiedentlich werden innerhalb einer Zementart und -festigkeitsklasse die für ein fest umrissenes Anwendungsgebiet maßgeblichen bautechnischen Eigenschaften, z.B. durch eine Änderung der Zusammensetzung, gezielt modifiziert. Dies wird dann in der Regel durch eine Zusatzbezeichnung für den Zementanwender kenntlich gemacht.

5.2 Bautechnische Eigenschaften

5.2.1 Erstarren und Wasseranspruch

Der Erstarrungsbeginn der überwiegend bei der Ortbetonbauweise eingesetzten Zemente der Festigkeitsklasse 32,5 liegt für alle Zementarten der DIN 1164-1 im Mittel auf vergleichbarem Niveau. Selbst die für Straßenbeton nach der ZTV-Beton zu erfüllende Anforderung an den Erstarrungsbeginn von ≥ 2 Stunden kann von den Zementarten dieser Festigkeitsklasse mit wenigen Ausnahmen erfüllt werden. Der Erstarrungsbeginn der überwiegend bei der werkmäßigen Fertigung eingesetzten höheren Festigkeitsklassen 42,5 und 52,5 liegt für die in Deutschland hergestellten Zemente nur geringfügig unter den Werten der Festigkeitsklasse 32,5, so daß auch diese Zemente im Transportbeton, z.B. bei höher- oder hochfesten Betonen, ohne besondere Maßnahmen zum Einsatz kommen können. Die in Abschnitt 3.4 erläuterte Sulfatträgeroptimierung bewirkt ein robustes Verhalten während des Ansteifens und Erstarrens.

Der mit dem Erstarrungsbeginn geprüfte Wasseranspruch zur Normsteife steht, wie viele Untersuchungen gezeigt haben [16], in keinem oder in nur sehr geringem Zusammenhang mit den wichtigsten Verarbeitungseigenschaften des Betons, wie Konsistenz und Wasserabsondern bzw. Zusammenhaltevermögen. Das Zusammenhaltevermögen des Betons hängt stärker von der Feinheit bzw. der Kornverteilung des Zements ab. Eine Besonderheit der in DIN 1164-1 neu aufgenommenen Portlandkompositzemente besteht in einer höheren Feinheit und einer i.d.R. flacheren Kornverteilung im Vergleich zu Portlandzementen. Dies kann bei feinkornarmen Zuschlägen ein verbessertes Zusammenhaltevermögen des Frischbetons besonders beim Einsatz verflüssigender Betonzusatzmittel bewirken. Die höhere Feinheit geht dabei nicht mit einem höheren Wasseranspruch einher.

5.2.2 Festigkeit

Die Neufestsetzung der Festigkeitsgrenzen erfordert eine in der Regel geringe Anpassung des mittleren Festigkeitsniveaus (siehe Abschnitt 4.1). Wie weit sich dies im Zusammenspiel mit den weiteren Streuungen in den Betonausgangsstoffen und in deren Dosierung auf die Betonherstellung auswirkt, ist für jeden Einzelfall getrennt zu klären (siehe [15, 17]). Die ebenfalls als Zugeständnis an die europäische Harmonisierung tolerierte Absenkung der 7-Tage-Anfangsfestigkeit für Zemente der Festigkeitsklasse 32,5 von 18 auf 16 N/mm² wird bei dem hohen Niveau der 7-Tage-Festigkeit, wie es bei deutschen Zementen vorliegt, keine baupraktischen Auswirkungen zeigen. Die neu in die DIN 1164 aufgenommenen Zemente zeigen eine den anderen Portlandkompositzementen ähnliche Festigkeitsentwicklung.

5.2.3 Dauerhaftigkeit

Da alle in DIN 1164 aufgenommenen Zemente vergleichbare Dauerhaftigkeitsmerkmale aufweisen, erübrigt sich eine Differenzierung von Anwendungsbeschränkungen in den Betonnormen DIN 1045 und DIN 4227 weitestgehend. Für Betone, die einem sehr starken Frost-Tausalz-Angriff ausgesetzt sind, können weiterhin alle Portlandzemente, Porlandhüttenzemente, Porlandölschieferzemente

crete depends quite strongly on the fineness or particle size distribution of the cement. One special feature of the Portland-composite cements newly included in DIN 1164-1 consists of a higher fineness and an, as a rule, shallower particle size distribution than Portland cements. This can result in improved cohesive ability of fresh concretes with low-fines aggregates, especially when a plasticizing concrete admixture is used. The higher fineness is not accompanied by a higher water demand.

5.2.2 Strength

The establishment of new strength limits requires an, as a rule, slight adjustment of the average strength level (see Section 4.1). The extent to which this affects the concrete production in the interplay with the additional variations in the concrete constituent materials and their metered addition has to be clarified separately for each individual case (see [15, 17]). In view of the high level of the 7-day strengths achieved with German cements, the lowering of the 7-day early strength for cements in the 32.5 strength class from 18 to 16 N/mm², which was tolerated as a concession to European harmonization, will not have any practical effects on construction. The cements which have been newly included in DIN 1164 exhibit similar strength developments to the other Portland-composite cements.

5.2.3 Durability

As all the cements included in DIN 1164 exhibit similar durability characteristics any differentiation between application restrictions in the DIN 1045 and DIN 4227 concrete standards is very largely unnecessary. Furthermore, all Portland cements, Portland-slag cements, Portland-burnt shale cements and blastfurnace cements, of at least the 42.5 strength class, can be used for concretes which are exposed to very severe freeze-thaw attack with de-icing salt. Portland-limestone cements and blastfurnace cements of the 32.5 R strength class where the content of granulated blastfurnace slag is less than 50 % by mass may also be used for such concretes. A similar solution is aimed at for road concretes complying with "ZTV-Beton" and for concrete complying with "ZTV-K". Portland-limestone cements may also be used for prestressed concrete with immediate bond in accordance with DIN 4227 Part 1. The supplements to DIN 1045 and DIN 4227 Part 1, made necessary by the issue of DIN 1164-1, are being published in A1 supplementary sheets to the standards.

The reason why the durability characteristics of all the cements standardized in DIN 1164 are substantially the same is also that the quantities of the pozzolanic and inert main constituents are limited. The smaller proportion of clinker in Portland-composite cement is offset by optimum matching of the particle size distributions of the clinker and the interground additive, which gives an overall somewhat shallower particle size distribution of the cement. This enables the various main constituents to achieve a dense and optimum distribution in the cement paste and hardened cement matrix. This favourable effect is confirmed in, for example, freeze-thaw tests. The upper part of Fig. 3 from [6] shows the band width of the weight losses of concrete made with cements of the 32.5 strength class under freeze-thaw attack. The Portland-limestone cements used in these trials lie, as is shown in the diagram, in the lower half of this band width. The resistance of air-entrained concretes to freeze-thaw with de-icing salt is shown in the lower part of the diagram. Here again the air-entrained concrete with Portland-limestone cement lies in the lower half of the band width.

5.2.4 Shrinkage and creep

Shrinkage deformation of concrete made with Portland-composite cements lies in the lower part of the range measured on concretes having the same cement lime content but made with different cements [18, 19]. The results of a research project [19] and of extensive approval tests are available concerning the creep deformation of concretes made with Portland-composite cements. They confirm that the creep deformation in the range relevant to building practice is no different from the amount of creep found under practical conditions.

5.3 Taking into account fly ash in concrete

The extent to which fly ash is taken into account for the water/cement ratio and, in some cases, for the minimum cement content is at present controlled in the fly ash approvals and, after the DIN EN 450 fly

sowie Hochofenzemente mindestens der Festigkeitsklasse 42,5 zum Einsatz kommen. Zusätzlich dürfen für solche Betone Portlandkalksteinelemente sowie Hochofenzemente der Festigkeitsklasse 32,5 R verwendet werden, wenn deren Hüttensandgehalt weniger als 50 M.-% beträgt. Für Straßenbeton nach ZTV-Beton und für Beton nach ZTV-K wird eine ähnliche Lösung angestrebt. Portlandkalksteinelemente dürfen ebenfalls für Spannbeton mit sofortigem Verbund nach DIN 4227 Teil 1 eingesetzt werden. Die durch die Herausgabe von DIN 1164-1 notwendig gewordenen Ergänzungen zu DIN 1045 und DIN 4227 Teil 1 werden in Ergänzungsblättern A1 zu den Normen veröffentlicht.

Daß die Dauerhaftigkeitsmerkmale aller in DIN 1164 genormten Zemente weitgehend gleich sind, liegt auch darin begründet, daß die puzzolanischen und inerten Hauptbestandteile mengenmäßig begrenzt sind. Der geringere Klinkeranteil im Portlandkompositzement wird durch eine optimale Abstimmung der Kornverteilungen von Klinker und Zumahlstoff kompensiert, wodurch sich insgesamt eine etwas flachere Kornverteilung des Zements ergibt. Dadurch ist eine dichte und optimale Verteilung der unterschiedlichen Hauptbestandteile im Zementleim und im Zementstein möglich. Diese günstige Wirkung bestätigt sich z.B. in Frostversuchen. Bild 3 aus [6] zeigt im oberen Teil die Bandbreite der Gewichtsverluste von Beton unter Frostbeanspruchung mit Zementen der Festigkeitsklasse 32,5. Die bei diesen Versuchen verwendeten Portlandkalksteinelemente liegen, wie das Bild zeigt, in der unteren Hälfte dieser Bandbreite. Im unteren Teil ist der Frost-Tausalz-Widerstand von Luftporenbeton aufgetragen. Luftporenbeton mit Portlandkalksteinelement liegt auch hier in der unteren Hälfte der Bandbreite.

5.2.4 Schwinden und Kriechen

Die Schwindverformungen von Beton aus Portlandkompositzementen liegen im unteren Teil der bei Betonen gleichen Zementleimgehalts, aber mit unterschiedlichen Zementen festgestellten Größe [18, 19]. Über die Kriechverformungen von Betonen mit Portlandkompositzementen liegen Ergebnisse eines Forschungsvorhabens [19] und von umfangreichen Zulassungsprüfungen vor. Sie belegen, daß die Kriechverformungen im baupraktisch relevanten Bereich nicht von den in der Praxis erprobten Kriechmaßen abweichen.

5.3 Anrechenbarkeit von Flugasche im Beton

Die Anrechenbarkeit von Flugasche auf den Wasserzementwert und teilweise auf den Mindestzementgehalt wird derzeit in den Flugaschezulassungen und nach Gültigwerden der Flugaschenorm DIN EN 450 [20] in einer entsprechenden Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton geregelt. Unter den gültigen Festlegungen ist wie bisher eine Anrechenbarkeit bei Betonen mit weitgehend allen Zementen nach DIN 1164-1 möglich. Eine Ausnahme bilden nur Betone mit Traßzement, mit flugaschehaltigen Zementen sowie mit Hochofenzementen, wenn der Hüttensandgehalt über 70 M.-% liegt.

6 Kennzeichnung und Verpackung

Die neue DIN 1164-1 enthält wie bisher neben den technischen Anforderungen an den Zement Festlegungen für die erforderliche Kennzeichnung von Zementlieferungen auf Verpackung und Versandpapieren (Normbezeichnung des Zementes, Lieferwerk, Übereinstimmungszeichen, Sackfarbe). Darüber hinaus wird durch die neue Zementnorm auch weiterhin ein einheitliches Brutto-Gewicht des gefüllten Zementsacks festgelegt. Diese Festlegung dient Hersteller und Verbraucher gleichermaßen als Voraussetzung für eine Rationalisierung von Verpackung, Transport, Lagerung und Dosierung. Auf Wunsch des Arbeitsministers und der Bauberufsgenossenschaften wurde aus ergonomischen Gründen das vorgeschriebene Sackgewicht von 50 kg auf 25 kg halbiert.

7 Güteüberwachung

Auch nach Einführung der neuen DIN 1164-1 wird die Güteüberwachung in gewohnter Form gemäß DIN 1164-2 (Ausgabe März 1990) und den zugehörigen „Ergänzenden Richtlinien“ zusammen mit den ergänzenden Festlegungen in der Anlage 1.1 der Bauregelliste A Teil 1 [21] durchgeführt. Doch auch hier zeichnet sich eine Änderung ab. DIN 1164-2 wird derzeit unter Einbeziehung der „Ergänzenden

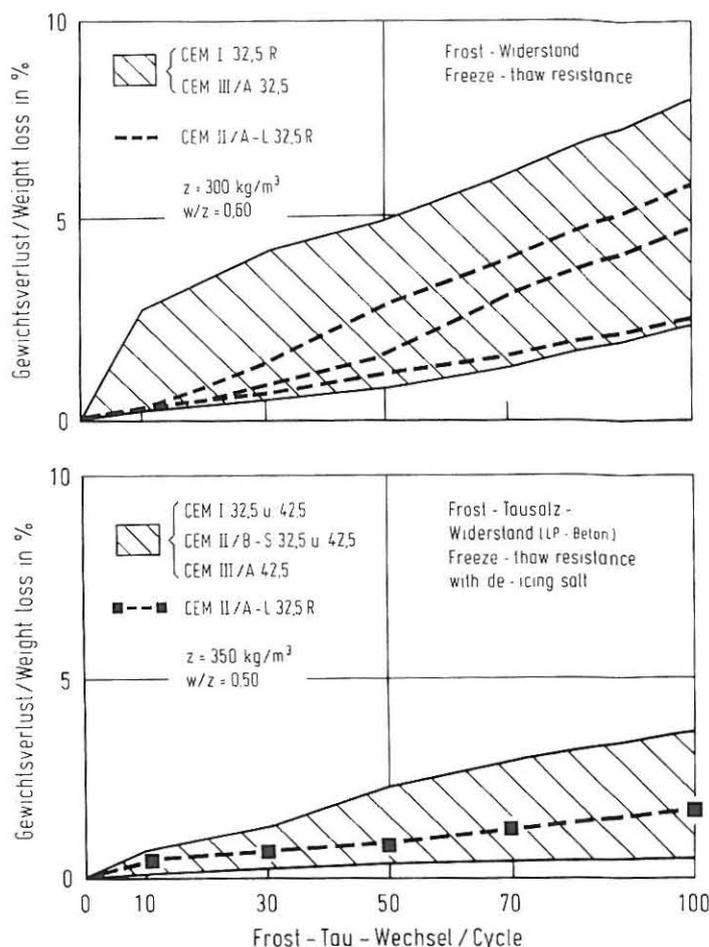


Bild 3 Frost-Widerstand von Beton (oben) bzw. Frost-Tausalz-Widerstand von Luftporenbeton (unten) mit Portlandkalksteinelement CEM II/A-L 32,5 R und anderen bislang genormten Zementen

Fig. 3 Freeze-thaw resistance of concrete (top) and resistance to freeze-thaw with de-icing salt of air-entrained concrete (bottom) with Portland limestone cement CEM II/A-L 32.5 R and other cements already standardized

ash standard [20] becomes valid, in an appropriate code of practice issued by the German Committee for Reinforced Concrete. Under the provisions in force, fly ashes can be taken into account in concretes with virtually all cements conforming to DIN 1164-1. The only exceptions are concretes with trass cement, with cements containing fly ash, and with blastfurnace cements where the content of granulated blastfurnace slag is over 70 % by mass.

6 Marking and packaging

The new DIN 1164-1 contains, as before, not only the technical specifications for the cement but also provisions for the required marking of cement deliveries on packaging and dispatch papers (standard designation of the cement, supplier, conformity marks, bag colour). The new cement standard continues to stipulate a uniform gross weight of the filled cement bag. This provision is equally useful to the manufacturer and the user as a prerequisite for rationalizing the packaging, transport, storage and metered addition. At the request of the Ministry of Employment and the Building Trades Cooperative Societies the prescribed bag weight has been halved on ergonomic reasons from 50 kg to 25 kg.

7 Quality inspection

Even after the introduction of the new DIN 1164-1, quality inspection continues to be carried out in the customary way in accordance with DIN 1164-2 (issue of May 1990) and the associated "Supplementary

Richtlinien" überarbeitet, um, ähnlich wie bei DIN 1164-1, wesentliche Bestandteile der 1994 verabschiedeten Europäischen Vornorm ENV 197-2 „Zement – Bewertung der Konformität“ ins Deutsche Regelwerk zu übernehmen. Über die wesentlichen Inhalte der neuen DIN 1164-2, die mit Ausgabe Juni 1995 als sogenannter „Gelbdruck“ erschienen ist, wird in einem gesonderten Beitrag [22] berichtet.

8 Sicherheit beim Umgang mit Zement

Der Prozeß der Zementherstellung, die dabei erzeugten Produkte wie auch deren Verwendung im Bauwesen unterliegen einer Reihe von gesetzlichen Regelungen, die die Umweltvorsorge und den Schutz der Gesundheit bei der Herstellung und beim bestimmungsgemäßen Umgang mit diesen Produkten zum Ziel haben.

Das Chemikaliengesetz [23] und seine Rechtsverordnungen, die in der Europäischen Union inzwischen harmonisiert wurden, legen fest, daß bei jedem Stoff und bei jeder Zubereitung der jeweils vorliegende Gefährdungsgrad zu prüfen und festzustellen ist. Danach muß auch bei Zementen, die als Zubereitung gelten, verfahren werden. Die Überprüfung, Einstufung und Kennzeichnung von Normzementen nach der Gefahrstoffverordnung wurde auf der Basis von Untersuchungsverfahren vorgenommen, die sowohl für den Hersteller als auch für Behörden verbindlich sind. Danach sind Zemente, als Zementleimsuspension geprüft, unter Berücksichtigung des bestimmungsgemäßen Gebrauchs als Gefahrstoff mit der Kennzeichnung „Reizend – X_i“ einzustufen.

Auf Verpackung und Versandpapieren wird dementsprechend der Gefahrenhinweis zusammen mit dem Gefahrensymbol X_i auf orangefarbenem Untergrund und den dafür vorgeschriebenen Risikosätzen R36 und R38 sowie den Sicherheitsratschlägen S24, S25 und S26 angebracht. Eine Verletzungsgefahr läßt sich weitgehend vermeiden, wenn die berufsgenossenschaftlich vorgeschriebenen Schutzmaßnahmen zum Augen- und Hautschutz (S24, S25, S26, S37) befolgt werden.

Das trifft gleichermaßen für den Hinweis auf die Gefahr einer „Sensibilisierung durch Hautkontakt“ (R43) zu, der sich generell auf alle möglicherweise sensibilisierend und allergieauslösend wirkenden Bestandteile bezieht. Anders als die rechtlich unverbindlichen Empfehlungen der TRGS 613 (Technische Regeln für Gefahrstoffe) unterstellten, ist nach Hautkontakt eine Sensibilisierung und Allergieauslösung auch dann nicht zu vermeiden, wenn das wasserlösliche Chromat durch Zusätze (z.B. des selbst als „Gesundheitsschädlich – X_n“ eingestuften Eisen(II)sulfats) zum Zement oder zu zementhaltigen Zubereitungen auf Werte unter den medizinisch nicht belegbaren „Grenzwert“ von 2 ppm gesenkt wird [24]. Maßgebend für einen sachgerechten und sicheren Umgang mit Zement bleiben derzeit allein die verbindlichen Sicherheitsratschläge.

9 Zusammenfassung

Die neue deutsche Zementnorm DIN 1164-1 entspricht in weiten Teilen der europäischen Vornorm ENV 197-1 und erfaßt neben den bereits genormten Zementen auch die bislang bauaufsichtlich zugelassenen Zemente. Sie erweitert somit die Palette der in der Praxis einsetzbaren Normzemente. Die Veränderung der Zementbezeichnungen und -festigkeitsklassen sind Zugeständnisse an die europäische Normung. Sie bringen keine für die Zementanwendung signifikante Änderung in den für die Qualität des Zements maßgeblichen Eigenschaften mit sich.

Es wurden nur diejenigen Zementarten aus der europäischen Vornorm ENV 197-1 übernommen, deren baupraktische Leistungsmerkmale zweifelsfrei beurteilt werden können und deren Anwendung in Deutschland erprobt ist. Da alle in DIN 1164-1 aufgenommenen Zemente vergleichbare Dauerhaftigkeitsmerkmale aufweisen, erübrigt sich eine Differenzierung von Anwendungsbeschränkungen in den zugehörigen Betonnormen weitestgehend. Eine Ausnahme bilden wie bisher Betone, die einem sehr starken Frost-Tausalz-Angriff ausgesetzt sind sowie Spannbeton mit sofortigem Verbund.

Die neue Norm enthält präzisere Festlegungen für die einsetzbaren Zementbestandteile, die daran zu stellenden Anforderungen und deren mengenmäßige Begrenzung. Aus diesem Grunde konnten Anforderungen, die sich nicht unmittelbar auf bestimmte Leistungsmerkmale des Zementes beziehen (z.B. CO₂-Gehalt), entfallen.

Guidelines" together with the complementary provisions in Appendix 1.1 of the Building Regulations List A Part 1 [21], but here again there is a change. DIN 1164-2 is currently being revised to include the "Supplementary Guidelines" so that, as with DIN 1164-1, substantial parts of the European prestandard ENV 197-2 "Cement – evaluation of conformity", adopted in 1994, can be included in the German regulations. The essential contents of the new DIN 1164-2, which was issued in June 1995 as a draft, are reported in a separate article [22].

8 Safety when dealing with cement

The cement manufacturing process, the products which are produced by it, and their use in the building trade, are subject to a series of legal regulations aimed at environmental precautions and protection of health during manufacture and when dealing with these products in accordance with the regulations.

The Chemicals Law [23] and its regulations, which have now been harmonized in the European Union, stipulate that the degree of danger present in any given case must be tested and established for each substance and for each formulation. This procedure must also be used with cements, which count as formulations. The testing, classification and marking of standard cements in accordance with the regulations for hazardous substances was carried out on the basis of investigative methods which are binding on both the manufacturer and the authorities. According to this cements, which are tested as cement lime suspensions, must, with due regard to usage in accordance with the regulations, be classified as hazardous substances with the marking "Irritant – X_i".

The danger notice, together with the danger symbol X_i on an orange coloured background and the risk statements R36 and R38 and the safety notes S24, S25 and S26 prescribed for this purpose, are affixed to the packing and dispatch documents. Any danger of injury can be largely avoided if the safety measures for protecting eyes and skin prescribed by the trade cooperative association (S24, S25, S26, S37) are followed.

This applies in like manner to the notice of the danger of "sensitization through skin contact" (R43) which refers in general to all constituents which may possibly have a sensitizing or allergic reaction. Contrary to what is assumed by the legally non-binding recommendations of the TRGS 613 (Technical regulations for hazardous substances), sensitization and allergic reaction after skin contact cannot be avoided even if the water-soluble chromate is lowered to values below the medically non-verifiable "limit" of 2 ppm by additions (e.g. of iron (II) sulfate which is itself classified as "injurious to health – X_n") to the cement or to formulations containing cements [24]. At present the binding safety instructions remain the only authoritative procedures for proper and safe handling of cement.

9 Summary

The new German cement standard DIN 1164-1 corresponds very extensively to the European prestandard ENV 197-1. In addition to the cements already standardized, it also covers the cements which had been approved by the building authorities, thus extending the range of standard cements which can be used. The changes in cement designations and strength classes are concessions to European standardization. They do not entail any changes in those characteristics which govern the quality of the cement and are significant to its application.

The only types of cement adopted from the European prestandard ENV 197-1 were those which have performance characteristics relevant to building practice which can be assessed beyond any doubt and the application of which has been well-tried in Germany. All the cements accepted into DIN 1164-1 have comparable durability characteristics so it is very largely unnecessary to differentiate between the application restrictions in the associated concrete standards. An exception to this is, as before, concretes which are exposed to very severe freeze-thaw attack with de-icing salt, and pretensioned concrete.

The new standard contains more precise definitions for the cement constituents which can be used, the specifications to be set for them, and their quantitative limits. It was therefore possible to omit specifications which do not relate directly to specific performance features of the cement (e.g. CO₂ content).

Die neuen Festigkeitsklassen der Norm erfordern eine geringe Anpassung des mittleren Festigkeitsniveaus. Ob sich dies auf die Betonherstellung auswirkt, kann wegen der anderen streuenden Einflüsse nur im Einzelfall festgestellt werden.

Aufgrund des novellierten Chemikaliengesetzes ist der Zement als „Reizend“ einzustufen. Neben den nach Norm geforderten Angaben sind Zementverpackungen und Versandpapiere mit der Kennzeichnung „Reizend – X“ und Hinweisen auf Risiken und erforderliche Schutzmaßnahmen zu versehen.

The new strength classes in the standard require a slight adjustment of the mean strength levels. Whether this affects the concrete production can only be established in each individual case because of the other dispersive effects.

On the basis of the amended law governing chemicals, cement is to be classified as an “irritant”. In addition to the information required by the standard, cement packaging and dispatch papers must carry the designation “Irritant – X”, and instructions about risks and necessary safety measures.

SCHRIFTTUM/LITERATURE

- [1] DIN V ENV 197-1: 1992-12: Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien, Teil 1: Allgemein gebräuchlicher Zement, Deutsche Fassung ENV 197-1:1992.
- [2] DIN 1164-1: 1994-10: Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen.
- [3] Albeck, J., und G. Kirchner: Einfluß der Verfahrenstechnik auf die Herstellung marktorientierter Zemente. Zement-Kalk-Gips 46 (1993) H. 10, S. 615/626.
- [4] Schmidt, M.: Zement mit Zumahlstoffen – Leistungsfähigkeit und Umweltentlastung. Zement-Kalk-Gips 45 (1992) H. 2, S. 64/69, und H. 6, S. 296/301.
- [5] Sprung, S., und E. Siebel: Beurteilung der Eignung von Kalkstein zur Herstellung von Portlandkalksteinzement (PKZ). Zement-Kalk-Gips 44 (1991) H. 1, S. 1/11.
- [6] Siebel, E., und S. Sprung: Einfluß des Kalksteins im Portlandkalksteinzement auf die Dauerhaftigkeit von Beton. Beton 41 (1991) H. 3, S. 113/117, und H. 4, S. 185/188, sowie H. 6, S. 291; ebenso Betontechnische Berichte 1989-91, Beton-Verlag, Düsseldorf 1992, S. 171/191.
- [7] Albeck, J., und B. Sutej: Eigenschaften von Beton mit Portlandkalksteinzement. Beton 41 (1991) H. 5, S. 240/244, und H. 6, S. 288/291; ebenso Betontechnische Berichte 1989-91, Beton-Verlag, Düsseldorf 1992, S. 193/212.
- [8] Jortzick, H., und P. Schubert: Eigenschaften von Flugaschezement. Betonwerk + Fertigteile-Technik (1985) H. 2, S. 115/120.
- [9] Kollo, H.: 125 Jahre „Hüttensand – ein äußerst schätzbare Material.“ Beton-Informationen 5/6-87, S. 70.
- [10] Locher, F.W., W. Richartz und S. Sprung: Erstarren von Zement, Teil II: Einfluß des Calciumsulfatzusatzes. Zement-Kalk-Gips 33 (1980) H. 6, S. 271/277.
- [11] Locher, F.W.: Zur Frage des Sulfatwiderstands von Hüttenzementen. Zement-Kalk-Gips 19 (1966) H. 9, S. 395/401.
- [12] Bonzel, J., und K. Rendchen: Hinweise für die Verwendung von Zement zu Beton. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, H. 400, Beuth, Berlin 1989, S. 147/155.
- [13] Wischers, G.: „Leistungsfähigkeit“ als Kriterium für die Normung von Zement und Beton. Betonwerk + Fertigteile-Technik 56 (1990) H. 3, S. 51/60.
- [14] Schrämli, W., und H. Wolter: Feststellung der Zementqualität mittels Normmörtel – oder mittels Standardbetonprüfung? Zement-Kalk-Gips 41 (1988) H. 8, S. 403/408.
- [15] Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. und Verein Deutscher Zementwerke e.V.: Informationsaustausch zwischen Werken der Zementindustrie und Werken der Transportbetonindustrie, Abschlußbericht des BTB/VDZ-Kontaktausschusses, Juli 1994.
- [16] Wierig, H.-J., und B. Restoff: Konsistenz und Ansteifen des Frischbetons, Einfluß verschiedener Zemente und unterschiedlicher Frischbetontemperaturen. Schriftenreihe des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie e.V., H. 4, Beton-Verlag, Düsseldorf 1989.
- [17] Hanke, V., und E. Siebel: Erweiterte Grundlagen für die Betonzusammensetzung. Beton 45 (1995) H. 6, S. 412/418.
- [18] Grube, H.: Ursachen des Schwindens von Beton und Auswirkungen auf Betonbauteile. Schriftenreihe der Zementindustrie, Verein Deutscher Zementwerke e.V., H. 52, Beton-Verlag, Düsseldorf 1991.
- [19] Wierig, H.-J., und S. Suhr: Kriechverhalten von Betonen aus bauaufsichtlich zugelassenen Zementen mit Zumahlungen von inerten bzw. latent-hydraulischen Stoffen. Forschungsbericht, Amtl. Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen, Universität Hannover, 1994.
- [20] DIN EN 450: 1995-01: Flugasche für Beton – Definitionen, Anforderungen und Güteüberwachung; Deutsche Fassung EN 450: 1994.
- [21] Bauregelliste A und Liste C – Ausgabe 95/1. Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik, 26 (1995) Sonderheft H. 10.
- [22] Thielen, G., und F. Sybertz: Übereinstimmungsnachweis (Güteüberwachung) für Zement. Beton 45 (1995) H. 8 (in Vorbereitung).
- [23] Chemikaliengesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz – ChemG). Novellierte Fassung vom 25. Juli 1994.
- [24] Avnstorp, C.: Cement Eczema – An Epidemiological Intervention Study. (Thesis) University Copenhagen, Lægeforeningens forlag, Copenhagen 1992.