

Maria Teresa Alonso Junghanns, Christoph Müller, Düsseldorf

Verwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen in zementgebundenen Estrichen

Use of CEM II and CEM III/A cements in cement-based floor screeds

Übersicht

Zu allen Zeiten wurden in Deutschland auf der Basis der regional verfügbaren Rohstoffe leistungsfähige Zemente für sichere und zugleich wirtschaftliche Bauweisen mit zementgebundenen Baustoffen hergestellt. Die Herstellung von zementgebundenen Estrichen ist eine dieser Bauweisen. Aufgrund der stetig steigenden Anforderungen an den Umweltschutz kommt heute der Herstellung und Verwendung von Portlandkompositzementen (CEM II) und Hochofenzementen (CEM III) eine besondere Bedeutung zu. Laboruntersuchungen und praktische Erfahrungen bestätigen die grundsätzliche Eignung von Portlandzement sowie hüttensand-, kalkstein- und ölschieferhaltigen Zementen mit zwei bzw. drei Hauptbestandteilen für zementgebundene Estriche. Der Beitrag gibt einen Überblick über bautechnisch relevante Eigenschaften von Zementestrichen mit CEM I-, CEM II- und CEM III/A-Zementen. Basis der Auswertung sind Untersuchungen, die in den Jahren zwischen 1998 und 2008 von VDZ-Mitgliedsunternehmen durchgeführt bzw. beauftragt wurden.

1 Einleitung

Zementestriche werden seit Jahrzehnten im Wohnungs-, Gewerbe- und Industriebau mit Erfolg eingesetzt. Sie zeichnen sich gegenüber anderen mineralisch gebundenen Estrichen vor allem durch ihre Beständigkeit bei Feuchtebeanspruchung aus und können daher sowohl im Innen- als auch im Außenbereich verwendet werden. Die Estrichherstellung ist ein komplexer Prozess, auf den die Auswahl geeigneter Ausgangsstoffe und die Rahmenbedingungen auf der Baustelle, wie Transport, Lagerung, Mischen, Fördern und Verlegen am Einbauort, einen wesentlichen Einfluss haben.

Für die Herstellung von Zementestrichmörtel können alle Normzemente bei nachgewiesener Eignung eingesetzt werden. In bestimmten Anwendungsfällen kann der Einsatz so genannter Estrichschnellzemente sinnvoll sein. Zemente ohne Angabe der Zementhauptbestandteile oder ohne die notwendigen Konformitätsbescheinigungen bzw. Übereinstimmungszeichen sollten nicht eingesetzt werden [1, 2].

Vereinzelte Probleme in der Estrichherstellung (z.B. zu geringe Oberflächenfestigkeit, Hohlstellenbildung, langsame Austrocknung) wurden seitens der ausführenden Industrie gelegentlich pauschal mit der Umstellung von CEM I auf Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen in Verbindung gebracht. Obwohl keine dokumentierten Fälle vorliegen, die einen Rückschluss auf den Einfluss des Zements erlauben, gibt es teilweise Vorbehalte gegenüber der Verwendung von CEM II- bzw. CEM III-Zementen zur Herstellung von Estrichen. Das Forschungsinstitut der Zementindustrie ist daher der Frage des Zementarteinflusses auf die bautechnisch relevanten Eigenschaften von Estrichen nachgegangen.

2 Ziel und Umfang des Untersuchungsprogramms

Ziel der im Forschungsinstitut der Zementindustrie durchgeführten Auswertung war es, eine Datengrundlage für Zementestriche unter Verwendung von Portlandkomposit- und Hochofenzementen zu erarbeiten und dabei insbesondere bautechnisch relevante Eigenschaften von Zementestrichen zu betrachten. Dafür wurden Ver-

Abstract

Efficient cements have always been produced in Germany from the regionally available raw materials to ensure reliable and cost-effective methods of construction with cement-based building materials. One of these methods of construction involves the production of cement-based floor screeds. The constantly rising demands for environmental protection mean that particular importance is now placed on the production and use of Portland composite cements (CEM II) and blastfurnace cements (CEM III). Laboratory investigations and practical experience confirm that Portland cement and cements with two or three main constituents that contain granulated blastfurnace slag, limestone or oil shale are basically suitable for producing cement-based floor screeds. The article provides an overview of the constructionally relevant properties of cement floor screeds made with CEM I, CEM II and CEM III/A cements. The evaluation is based on investigations that were carried out or commissioned by member companies of the VDZ (German Cement Works Association) from 1998 to 2008.

1 Introduction

Cement-based floor screeds have been used successfully in residential, commercial and industrial construction for decades. In comparison with other mineral-based floor screeds, cement-based floor screeds are characterized in particular by their stability in moist conditions, so they are suitable for internal and external use. The production of floor screeds is a complex process that is influenced considerably by the selection of suitable starting materials and by building site conditions such as transport, storage, mixing, conveying and laying on site.

All standard types of cement may be used in the production of cement-based floor screed mortar, provided that their suitability has been verified. In particular applications it may be appropriate to use quick-setting floor screed cements. Cements without any information about the main constituents or without the required certificates of conformity or conformity marks should not be used [1, 2].

Individual problems encountered in floor screed production (for example insufficient surface strength, formation of voids, slow drying) have in some cases been sweepingly linked by the industry that lays the screeds to the changeover from CEM I cement to cements with several main constituents. Although there are no documented cases that would allow any conclusions to be drawn on the influence of the cement there are still some reservations about the use of CEM II or CEM III cements for producing floor screeds. The Research Institute of the Cement Industry has therefore investigated the influence of cement type on the constructionally relevant properties of floor screeds.

2 Objective and scope of the investigative programme

The objective of the evaluation programme carried out by the Research Institute of the Cement Industry was to compile a database for cement-based floor screeds made with Portland composite cement and blastfurnace cement and, in particular, to observe the constructionally relevant properties of cement-based floor screeds.

gleichsuntersuchungen an zementgebundenen Estrichen mit variierenden Zementzusammensetzungen, jedoch ansonsten jeweils gleicher Zusammensetzung der Estrichen und identischen Herstellungs- und Prüfbedingungen ausgewertet. Diese Untersuchungen wurden von VDZ-Mitgliedsunternehmen in eigenen Laboren bzw. durch unabhängige Prüflabore im Auftrag der Unternehmen in den Jahren zwischen 1998 und 2008 durchgeführt. Als Ausgangsstoffe wurden 26 verschiedene Zemente unterschiedlicher Herkunft herangezogen.

Bei den Untersuchungen wurden 40 Estrichmörtel verschiedener Zusammensetzung hergestellt. Aus einer Datenbank mit mehr als 1 000 Einzelergebnissen wurden im Wesentlichen folgende Eigenschaften analysiert: die Verarbeitbarkeit und der Luftgehalt, die Festigkeitsentwicklung, die Endfestigkeit und die Oberflächenfestigkeit, die Restfeuchte sowie das Schwinden und das Aufschüsseln.

3 Zusammensetzung der Estrichmörtel

3.1 Ausgangsstoffe

3.1.1 Zement

Die verwendeten Zemente erfüllten die Anforderungen nach DIN EN 197-1:2004-08. Die Druckfestigkeit der Zemente wurde im Alter von 2 d und 28 d nach DIN EN 196-1:2005-05 bestimmt. Erstarrungsbeginn und der Wasseranspruch wurden nach DIN EN 196-3: 2005-05 ermittelt. Die Bestimmung der Mahlfeinheit bzw. der spezifischen Oberfläche (Blainewert) erfolgte nach DIN EN 196-6:2008-05. Tafel 1 gibt einen Überblick über die Zemente und ihre maßgebenden Eigenschaften.

Comparative investigations into cement-based floor screeds made with varying cement compositions but otherwise having the same floor screed composition were carried out under identical production and testing conditions and the results were evaluated. These investigations were carried out between 1998 and 2008 by member companies of the VDZ (German Cement Works Association) in their own laboratories or by independent testing laboratories on behalf of the companies. 26 different cements of varying origin were used as starting materials.

40 floor screed mortars with different compositions were produced for the investigations. The following properties taken from the database of more than 1 000 individual results were compiled and was analysed: workability and air content, strength development, final strength and surface strength, residual moisture content, shrinkage and dishing.

3 Floor screed mortar composition

3.1 Starting materials

3.1.1 Cement

The cements used met the requirements specified in DIN EN 197-1: 2004-08. The compressive strengths of the cements were measured at two days and 28 days in accordance with DIN EN 196-1:2005-05. The initial setting time and water demand were established as per DIN EN 196-3:2005-05. The fineness or Blaine specific surface area was measured as specified in DIN EN 196-6:2008-05. Table 1 provides an overview of the cements investigated and their main properties.

Tafel 1: Eigenschaften der Zemente: Wasseranspruch (WA), Mahlfeinheit (Blaine), Erstarrungsanfang (EA), Zementnormdruckfestigkeit im Alter von 2 d und 28 d

Table 1: Properties of the cements: water demand (WD), fineness (Blaine), initial setting time (IS), cement standard compressive strength at the age of 2 d and 28 d

Zemente für die Vergleichsuntersuchungen Cements for the comparative investigations		WA	Blaine	EA	Druckfestigkeit	
		WD	Blaine	IS	Compressive strength	
		M.-% mass %	g/cm ²	min	2 d	28 d
		MPa				
V1	CEM I 32,5 R	26,5	2-870	150	25,4	46,2
	CEM II/B-S 32,5 R	27,0	2-900	180	20,2	45,3
V2	CEM I 32,5 R	26,0	3-180	155	28,2	47,2
	CEM II/B-S 32,5 R	27,0	3-460	185	19,6	48,2
V3	CEM I 32,5 R	26,5	3-200	175	27,2	54,7
	CEM II/A-M (S-LL) 32,5 R	27,5	3-900	215	24,9	49,7
V4	CEM II/B-S 32,5 R	28,8	3-535	226	16,8	50,6
	CEM III/A 42,5 N	29,5	3-940	230	20,2	58,1
V5	CEM I 32,5 R	28,0	3-340	195	28,6	48,7
	CEM II/B-S 32,5 R	27,8	3-450	253	20,9	49,8
V6	CEM I 32,5 R	27,7	2-940	177	24,0	51,0
	CEM II/B-S 32,5 R	28,6	3-170	168	25,0	51,0
	CEM II/A-LL 32,5 R	28,4	3-690	166	26,0	49,0
V7	CEM I 32,5 R	26,9	2-500	187	17,2	49,9
	CEM II/A-LL 32,5 R	27,9	4-480	141	25,1	49,4
	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	27,6	3-450	162	23,0	51,1
	CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	29,0	4-740	165	24,3	48,3
	CEM III/A 32,5 N	26,7	2-900	193	12,0	47,5
V8	CEM I 32,5 R	27,3	3-298	171	22,9	49,4
	CEM II/B-S 42,5 N	29,5	4-683	183	22,8	59,5
V9	CEM I 32,5 R	25,2	2-900	190	21,0	47,0
	CEM II/B-S 42,5 N	29,0	3-900	180	23,0	55,0
V10	CEM I 32,5 R	27,6	3-150	185	27,7	49,7
	CEM II/B-S 32,5 R	27,5	3-290	210	19,9	49,2
V11	CEM I 32,5 R	24,6	2-866	228	17,9	21,0
	CEM II/B-S 42,5 N	28,5	4-229	204	49,9	56,0

3.1.2 Gesteinskörnung

Zur Herstellung der Zementestrichmörtel wurde in allen Vergleichsuntersuchungen Rheinkiessand verwendet. Bei allen Untersuchungen wurde eine Siebanalyse der Gesteinskörnung durchgeführt. Die Sieblinien lagen in neun Vergleichsuntersuchungen im Bereich B8 und in jeweils einem Fall lag die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung im Bereich der Sieblinie A8 bzw. C8 der „Regelsieblinien“ nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

3.1.3 Andere Ausgangsstoffe

Einige Estrichmörtel wurden mit Zusatzmitteln oder Zusatzstoffen (Kunstharzdispersionen) hergestellt. Es handelte sich um sieben verschiedene kommerzielle zementestrichspezifische Produkte von drei verschiedenen Zusatzmittelherstellern. Die Produktangaben der Hersteller sind in Tafel 2 zusammengestellt.

3.2 Mischungszusammensetzung

Die Eigenschaften des Estrichmörtels wurden an Zementestrichmörtel unterschiedlicher Zusammensetzung ermittelt, die in Tafel 3 zusammengefasst sind. Bei den Vergleichsuntersuchungen blieb die Zusammensetzung jeweils unverändert, um den Einfluss der Zementart feststellen zu können. Lediglich in der Untersuchungsreihe V8 wurde die Dosierung der Zusatzmittel leicht variiert, um die Zielkonsistenz zu erreichen. Die Dosierungen lagen im Bereich der Dosierungsempfehlungen der Hersteller mit Ausnahme von V10-C. Hier wurde die Dosierung für Forschungszwecke erhöht.

4 Herstellung und Prüfung der Estrichmörtel

4.1 Herstellung der Estrichmörtel

Die Estrichmörtelherstellung erfolgte einheitlich im Zwangsmischer und für jede Vergleichsuntersuchung wurden die Bedingungen konstant gehalten. Es wurden 50-l- bzw. 30-l Mischungen (V1 bis V4 bzw. V5 bis V11) hergestellt. In einem Fall wurde eine baustellengerechte Estrichpumpe eingesetzt (V6).

In der Regel wurde die Mischung nach Zugabe der Hälfte der auf einen Feuchtegehalt von ca. 3 M.-% eingestellten Gesteinskörnung und des Zements vorgemischt. Im Anschluss daran wurden die

3.1.2 Aggregate

Coarse Rhine sand was used to produce the cement-based floor screed mortar in all the comparative investigations. A sieve analysis of the aggregate was carried out for all the tests. Based on the “standard grading curves” specified in DIN EN 206-1/DIN 1045-2, the grading curves were located in region B8 for nine of the comparative investigations and in the vicinity of grading curves A8 and C8 for one test each.

3.1.3 Other starting materials

Some of the floor screed mortars were produced using admixtures or additions (synthetic resin dispersions). This involved seven different commercial products designed specifically for cement-based floor screeds and produced by three different admixture manufacturers. The manufacturers’ product data are summarized in Table 2.

3.2 Mix composition

The floor screed mortar properties were determined on cement-based floor screed mortars of different compositions, which are summarized in Table 3. In each case the composition was held constant for the comparative investigations in order to identify the influence of the cement type used. The admixture addition level was modified slightly in test series V8 to obtain the target consistency. The addition levels used lay in the ranges recommended by the manufacturers, with the exception of V10-C. In this case the addition level was raised for research purposes.

4 Production and investigation of the floor screed mortar

4.1 Production of the floor screed mortar

All the floor screed mortars were produced in the same way in a mechanical mixer and the conditions were held constant for each comparative investigation. 50-litre and 30-litre (V1 to V4 and V5 to V11 respectively) mixes were produced. In one case, a floor screed pump suitable for use on a building site was used (V6).

The mix was generally pre-mixed after half of the aggregate, with a moisture content set to approximately 3 mass %, and the

Tafel 2: Herstellerangaben zu verwendeten Zusatzmitteln und Zusatzstoffen für die Herstellung der Zementestrichmörtel
Table 2: Manufacturers’ data for the admixtures and additions used for producing the cement-based floor screed mortar

Kürzel Acronym	Verwendete Zusatzmittel und Zusatzstoffe (Herstellerangaben) Admixtures and additions used (manufacturers’ information)
V6-A, V7-A	Produkt: Estrichzusatzmittel aus synthetischen Fettalkoholsulfat-Salzen; <u>Wirkung</u> : dispergierend, plastifizierend und stabilisierend; <u>Dosierung</u> : 0,1 bis 0,12 M.-% vom Zementgehalt <i>Product: floor screed admixture consisting of synthetic aliphatic alcohol sulfate salts; Action: dispersive, plasticizing and stabilizing; Addition level: 0.1 to 0.12 mass % wrt to cement content</i>
V6-B	Produkt: Estrichzusatzmittel; <u>Wirkung</u> : plastifizierend; <u>Dosierung</u> : keine Angaben <i>Product: floor screed admixture; Action: plasticizing; Addition level: no information</i>
V8-A	Produkt: Estrichzusatzmittel aus synthetischen Fettalkoholsulfat-Salzen; <u>Wirkung</u> : plastifizierend, stabilisierend und homogenisierend; <u>Dosierung</u> : 0,03 bis 0,05 M.-% vom Zementgehalt <i>Product: floor screed admixture consisting of synthetic aliphatic sulfate salts; Action: plasticizing, stabilizing and homogenizing; Addition level: 0.03 to 0.05 mass % wrt cement content</i>
V8-B, V11-A	Produkt: Synthetische Kunstharzdispersion mit oberflächenaktiven Zusätzen; <u>Wirkung</u> : stabilisierend; <u>Dosierung</u> : 0,5 bis 2,0 M.-% vom Zementgehalt <i>Product: synthetic resin dispersion with surface-active additives; Action: stabilizing; Addition level: 0.5 to 2.0 mass % wrt to cement content</i>
V10-A	Produkt: Flüssiges Konzentrat zur Herstellung von schwimmenden Estrichen der Güte CT-F4; <u>Wirkung</u> : plastifizierend; <u>Dosierung</u> : 0,2 bis 0,3 M.-% vom Zementgehalt <i>Product: liquid concentrate for producing floating floor screeds of CT-F4 quality; Action: plasticizing; Addition level: 0.2 to 0.3 mass % wrt to cement content</i>
V10-B	Produkt: Flüssiges Zementestrichzusatzmittel zur Herstellung von Zementestrichen der Güte CT/CA F4 / F5 auf Dämmung und Trennlage; <u>Wirkung</u> : plastifizierend und Beschleunigung der Austrocknung; <u>Dosierung</u> : 3 M.-% vom Zementgehalt <i>Product: liquid cement-based floor screed admixture for producing cement-based floor screeds of the CT/CA F4 / F5 quality on insulation and parting layer; Action: plasticizing and acceleration of the drying; Addition level: 3 mass % wrt to cement content</i>
V10-C	Produkt: Kunststoffdispersion zur Herstellung von Zementestrichen ab Güte CT-C35-F5; <u>Wirkung</u> : Verbesserung der Verarbeitbarkeit und Vergütung des Estrichs; <u>Dosierung</u> : 5 bis 7 M.-% vom Zementgehalt <i>Product: synthetic dispersion for producing cement-based floor screeds from CT-C35-F5 quality; Action: improvement of the workability and quality of the floor screed; Addition level: 5 to 7 mass % wrt cement content</i>

Tafel 3: Mischungszusammensetzung der Zementestrichmörtel
Table 3: Mix composition of the cement-based floor screed mortar

Bezeichnung Designation	z/c	w/z w/c	Sand/Sand	Kies/Gravel	Zusätze/Additives	
	kg/m ²		kg/m ²	kg/m ²	Dosierung M.-% v.z. Addition level, mass % wrt cement	Kürzel/Acronym
V1	300	0,58	1008	792	ohne/none	
V2	300	0,58	1080	720	ohne/none	
V3	300	0,58	1075	725	ohne/none	
V4	300	0,57	1080	720	ohne/none	
V5	280	0,79	1015	798	ohne/none	
V6	289	0,78	936	798	ohne/none	
	277	0,55	896	764	0,10	V6-A
	272	0,63	881	751	0,15	V6-B
V7	300	0,52	1005	670	0,05	V7-A
V8	295	0,65	1346	498	0,05 bzw./or 0,04	V8-A
					0,70 bzw./or 0,65	V8-B
V9	295	0,75	1175	598	ohne/none	
V10	310	0,47	711	1159	ohne/none	
	310	0,42	694	1132	0,30	V10-A
	320	0,42	718	1172	3	V10-B
	450	0,30	682	1113	10	V10-C
V11	295	0,65	1346	498	0,55	V11-A
					0,47	

restliche Gesteinskörnung und das restliche Wasser zugegeben und zwei Minuten gemischt (V1 bis V7, V9). In einigen Fällen wurden die Feststoffe in den Mischer gegeben und anschließend wurde das Wasser bei laufendem Mischer hinzugefügt (V8, V10, V11). Die Mischdauer lag bei zwei bis drei Minuten bis zum Erreichen eines gleichmäßigen Erscheinungsbilds nach DIN EN 13892-1:2003-02. Bei Verwendung von Zusatzmitteln wurden die Angaben der Zusatzmittelhersteller befolgt und das Produkt entweder mit dem Anmachwasser oder in den laufenden Mischer zu dem erdfeuchten Mörtel zugegeben. Die Prüfkörper wurden unmittelbar im Anschluss an den Mischvorgang für die verschiedenen Prüfungen hergestellt.

4.2 Untersuchte Materialeigenschaften

4.2.1 Frischmörteleigenschaften

Die Frischmörteleigenschaften der Estrichmörtel wurden wie in Tafel 4 angegeben bestimmt. Die Prüfung erfolgte unmittelbar nach der Mörtelherstellung bzw. nach 10 und 30 Minuten nach der Herstellung. Die zeitliche Veränderung der Konsistenz wurde bei der Untersuchung V6 durch Messungen 5, 10, 20, 30 und 50 Minuten nach der Herstellung ermittelt.

4.2.2 Rohdichte, Biegezug- und Druckfestigkeit an Normprismen

Die Festigkeitsprüfungen und die Bestimmung der Rohdichte an Normprismen wurden entsprechend Tafel 4 durchgeführt. Biegezug- bzw. Druckfestigkeit wurden in allen Fällen im Alter von 3 d, 7 d und 28 d bestimmt. In einigen Untersuchungen wurden die Werte auch im Alter von 1 d, 2 d und 56 d ermittelt.

4.2.3 Weitere Festigkeitsprüfungen

Weitere Festigkeitsprüfungen wurden an gesondert hergestellten Prüfkörpern unterschiedlicher Abmessungen durchgeführt. Hierzu wurden Platten als schwimmender Estrich auf Dämmschicht für die Eignungsprüfung und für die Bestätigungsprüfung hergestellt. Es wurden die Biegezugfestigkeit bzw. die Oberflächenzugfestigkeit als Haftzugfestigkeit und die Durchbiegung ermittelt. In einigen Fällen wurde auch die Ritzfestigkeit bestimmt. Tafel 5 gibt einen Überblick über die durchgeführten Prüfungen.

cement had been added. The rest of the aggregate and water were then added and mixed for two minutes (V1 to V7, V9). In some cases, the solids were introduced into the mixer first and water was added while the mixer was running (V8, V10, V11). The mixing lasted for 2 to 3 minutes until the mix appeared uniform, as specified in DIN EN 13892-1:2003-02. When admixtures were used, the manufacturers' information was followed and the product was either added with the mixing water or to the slightly moist mortar while the mixer was running. The test pieces for the various investigations were produced directly after the mixing process.

4.2 Material properties investigated

4.2.1 Fresh mortar properties

The fresh mortar properties of the floor screed mortar were determined as specified in Table 4. The tests were carried out directly after mortar production or 10 and 30 minutes after production. The change in consistency over time was established in investigation V6 by taking measurements 5, 10, 20, 30 and 50 minutes after production.

4.2.2 Bulk density, flexural tensile and compressive strengths of standard prisms

The strength tests and bulk density measurements were carried out as shown in Table 4 on standard prisms. In all the investigations, the flexural tensile and compressive strengths were measured at 3 days, 7 days and 28 days. In some of the investigations the values for these properties were also determined at 1 day, 2 days and 56 days.

4.2.3 Further strength tests

Further strength tests were also performed on specially produced test pieces with different dimensions. Slabs were produced as floating floor screed on insulating layers for the suitability and confirmatory tests. The flexural tensile strength or the surface tensile strength as well as the adhesive tensile strength and deflection were measured. In some cases, the scratch strength was also measured. Table 5 provides an overview of the tests performed.

Tafel 4: Frischmörteleigenschaften und Festmörteleigenschaften (Normprismen) der Zementestrichmörtel
 Table 4: Fresh mortar properties and hardened mortar properties (standard prisms) of the cement-based floor screed mortar

Eigenschaften Properties		Lagerung Storage	Untersuchung Investigation
Frischmörtel Fresh mortar	Konsistenz Consistency	Verdichtungsmaß Compaction factor DIN 18555-2:1982	V1, V2*, V3*, V4
		Ausbreitmaß (Hagermann-Gerät) Flow table spread (Hagermann unit) DIN 18555-2:1982 DIN EN 1015-3:1998	V5, V6, V8, V9, V10, V11
		Ausbreitmaß (Betonausbreittisch) Flow table spread (concrete flow table) DIN EN 12350-5:1999	V7
	Rohdichte Bulk density DIN 18555-2:1982 DIN EN 1015-6:2007	DIN 13892-1:2003 (in einigen Fällen* auch bei 10 °C) (in some cases* also at 10 °C)	V1, V2*, V3*, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11
	LP-Gehalt Air void content DIN 18555-2:1982 DIN EN 1015-7:1998		V1, V2*, V3*, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11
Festmörteleigenschaften Normprismen Hardened mortar properties Standard prisms (40 mm x 40 mm x 160 mm)	Biegezug- und Druckfestigkeit Flexural-tensile and compressive strengths DIN 18555-3:1982 DIN EN 13892-2:2003	DIN 18555-3:1982 DIN EN 13892-1:2003	V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11
		Klimakammer 10 °C (in einigen Fällen* nach 14 d, Klimakammer bei 20 °C) Climatic chamber 10 °C (in some cases* after 14 d, climatic chamber at 20 °C)	V2*, V3*, V7
	E-Modul Elastic modulus DIN 1048-5:1991	DIN 18555-3:1982 DIN EN 13892-1:2003	V5, V9, V10
	Schwinden Shrinkage DIN 52450:1985 DIN EN 13454-2:2004	1 d bzw. 7 d 20 °C, 95 % r.F. anschließend 20 °C 65 % r.F. 1 d or 7 d 20 °C, 95 % r.h. then 20 °C, 65 % r.h.	V5, V6 bzw./or V10

4.2.4 Verformungsverhalten bei Kurzzeitbelastung

Das Verformungsverhalten unter kurzzeitiger einachsiger Druckbeanspruchung (E-Modul) wurde im Alter von 28 d bestimmt (s. Tafel 4).

4.2.5 Verformungsverhalten bei Feuchtegehaltsänderungen

Formänderungen, die durch Änderungen des Feuchtehaushalts im Estrichmörtel ausgelöst wurden, d.h. das Trocknungsschwinden, wurden an Normprismen im Alter von 1 d bis 56 d untersucht (s. Tafel 4). In Schwindrinnen verschiedener Abmessungen wurden zusätzlich Schwindmessungen durchgeführt (Tafel 6). In den Untersuchungen V1 bis V4 und V6 wurden ebenfalls die horizontalen und vertikalen Verformungen an Rändern der horizontalen Flächen (Aufschüsseln) mit den Abmessungen 6 m x 3 m bei einer Dicke von 50 mm sowie in den Schüsselrinnen ermittelt.

4.2.6 Feuchtegehalt

Der Feuchtegehalt wurde durch Ofentrocknung bei 105 °C (Darr-Methode) bzw. mithilfe der Calciumcarbid-Methode (CM-Methode) nach [4] bestimmt. Bei der Ofentrocknung wurden die Proben in einem Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Aus der Gewichts Differenz zwischen feuchter und trockener Probe und aus dem Trockengewicht wurde der Feuchtegehalt berechnet. Bei der CM-Methode wird die Probe in einer Stahlflasche mit Manometer mit Calciumcarbid vermischt und dadurch Acetylen-

4.2.4 Deformation behaviour under short-term load

The deformation behaviour under short-term uniaxial pressure loading (elastic modulus) was measured at 28 days (see Table 4).

4.2.5 Deformation behaviour with varying moisture content

Changes in shape caused by variation in the moisture content in floor screed mortar, i.e. drying shrinkage, were investigated using standard prisms at ages of 1 day to 56 days (see Table 4). Shrinkage measurements were also carried out in shrinkage test channels of different dimensions (Table 6). The horizontal and vertical deformation (dishing) at the edges of the horizontal surfaces with dimensions of 6 m x 3 m and a thickness of 50 mm were measured in investigations V1 to V4 and V6 as well as in the shrinkage test channels.

4.2.6 Moisture content

The moisture content was measured by kiln drying at 105 °C (Darr method) or by using the calcium carbide method (CM method) in accordance with [4]. In the kiln drying process the samples were dried to constant weight in a drying chamber. The moisture content was calculated from the difference in weight between the wet and dry samples and from the dry weight of the samples. In the CM method, samples are mixed with calcium carbide in a steel cylinder with a manometer, thus forming acetylene gas. The moisture content was measured on the basis of the pressure increase indicated by the manometer and a calibration table.

Tafel 5: Festigkeitsprüfungen an Platten verschiedener Abmessungen und Lagerungen
 Table 5: Strength tests on slabs with various dimensions and storage conditions

Abmessungen der Prüfkörper Test piece dimensions		Lagerung/Storage	Festigkeitsprüfungen/Strength tests		
			Biegezugfestigkeit Flexural tensile strength DIN 18560-2:2004	Haftzugfestigkeit [3] Adhesive tensile strength DIN 1048-2:1991 DIN EN 13892-8:2003	Ritzfestigkeit Scratch strength (nicht normierte Ritzprüfung) (non-standard scratch test)
Dicke/Thickness 40 mm bis/to 45 mm	1 m x 1 m	Ohne Abdeckung 16 °C bis 20 °C; 40 bis 60 % r.F. Without cover 16 °C to 20 °C, 40 to 60 % r.h.	V5 (Prüfalter 28 d/Test age 28 d) Durchbiegung wurde bestimmt/Deflection was measured		
	1 m x 0,5 m		V6 (Prüfalter 28 d/Test age 28 d)		
	4 m x 2 m		V9 (Prüfalter 56 d/Test age 56 d)		
	0,4 m x 0,4 m		n.b.	V8, V11 (Prüfalter 56 d/Test age 56 d)	n.b.
	0,6 m x 0,5 m	Mit Abdeckung (PE-Folie) With cover (PE film) DIN EN 13892-1: 2003	V10 (Prüfalter 28 d) Durchbiegung wurde bestimmt V10 (Test age 28 d) Deflection was measured		n.b.
Dicke/Thickness 80 mm	1 m x 0,7 m	Ohne Abdeckung 16 °C bis 20 °C; 40 bis 65 % r.F. Without cover 16 °C to 20 °C, 40 to 60 % r.h.	V1, V2, V3, V4 (Prüfalter 28 d/Test age 28 d)		n.b.
		Ohne Abdeckung Klimakammer 10 °C, nach 14 d, Klimakammer 20 °C Without cover, climatic chamber 10 °C, after 14 d, climatic chamber 20 °C	V2, V3 (Prüfalter 28 d/Test age 28 d)		n.b.

n.b.: nicht bestimmt/not determined

Tafel 6: Untersuchungen zum Verformungsverhalten in Schwindrinnen
 Table 6: Investigation of the deformation behaviour in shrinkage-test channels

Abmessungen der Schwindrinnen Dimensions of the shrinkage-test channel	Lagerung/Storage	Untersuchung: Prüfungsdauer Investigation: Test duration
0,5 m x 40 mm x 40 mm	20 °C, 65 % r.F./r.h.	V5, V9: Prüfung bis 10 d V6: Prüfung bis 33 d V10: Prüfung bis 7 d V5, V9: Testing up to 10 d V6: Testing up to 33 d V10: Testing up to 7 d
1 m x 80 mm x 40 mm		V1, V3, V4: Prüfung bis 28 d V1, V3, V4: Testing up to 28 d
	Klimakammer 10 °C, nach 14 d, Klimakammer 20 °C Climatic chamber 10 °C, after 14 d, climatic chamber 20 °C	V2, V3: Prüfung bis 28 d V2, V3: Testing up to 28 d

gas erzeugt. Aus dem Druckanstieg an dem Manometer und einer Eichentabelle wurde der Feuchtegehalt ermittelt.

Tafel 7 gibt einen Überblick über die durchgeführten Prüfungen. Die Feuchte der Proben wurde im Alter von 3 d, 7 d, 14 d, 28 d und 56 d (V6, V8 bis V11) bzw. im Alter von 28 d (V1 bis V4, V7) bestimmt.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen zusammenfassend dargestellt. Dabei erfolgt in der Regel ein direkter Vergleich der Ergebnisse der Zementestriche mit CEM II-Zementen auf der Ordinate (Y-Achse) mit dem Ergebnis für Zementestrich mit Portlandzement CEM I auf der Abszisse (X-Achse) innerhalb der entsprechenden Versuchsreihe, d.h. unter ansonsten vergleichbaren Verhältnissen in der Estrichzusammensetzung und bei identischen Herstellungs-, Lagerungs- und Prüfbedingungen.

5.2 Verarbeitbarkeit

Die Verarbeitungseigenschaften eines Estrichs werden von der Estrichzusammensetzung, den Eigenschaften der Ausgangsstoffe und der Temperatur bestimmt. Der Wasserbedarf von Estrich wird überwiegend durch Art, Zusammensetzung und Menge der Gesteinskörnung beeinflusst. Aufgrund der optimierten Korngrößenverteilung von CEM II- und CEM III/A-Zementen ist in der Regel von einer guten Verarbeitbarkeit der damit hergestellten Mörtel und Betone auszugehen [5-7].

CEM II- und CEM III/A-Zemente sind in der Regel feiner gemahlen als vergleichbare CEM I-Zemente (s. Tafel 1). Die hö-

Table 7 provides an overview of the tests carried out. The moisture contents of the samples were measured at 3 days, 7 days, 14 days, 28 days and 56 days (V6, V8 to V11) or at 28 days (V1 to V4, V7).

5 Discussion of results

5.1 General

The results of the comparative investigations are summarized below. As a rule, within the corresponding test series, i.e. with otherwise comparable ratios in terms of floor screed composition and under identical production, storage and test conditions, there is a direct comparison of the results for cement-based floor screed containing CEM II cements, shown on the ordinate (y-axis), with the results for cement-based floor screed containing CEM I Portland cement, shown on the abscissa (x-axis).

5.2 Workability

The workability properties of a floor screed are determined by its composition, the properties of the starting materials and the temperature. The water demand of a floor screed is primarily influenced by the type, composition and amount of aggregate used. Due to the optimized particle size distributions of CEM II and CEM III/A cements, it should generally be assumed that mortars and concrete produced with these cements will exhibit good workability [5-7].

CEM II and CEM III/A cements are generally ground to a finer particle size than comparable CEM I cements (see Table 1). This greater fineness may lead to an increase in the water demand of cement in the standard test. However, this effect generally does

Tafel 7: Untersuchungen zum Feuchtegehalt
Table 7: Investigation of the moisture content

Abmessungen der Prüfkörper Dimensions of the test piece		Lagerung/Storage	Untersuchungen zum Feuchtegehalt durch Investigation of the moisture content by		
			Offentrocknung bei 105 °C Kiln drying at 105 °C	CM-Methode CM method	
Flächen der Dicke Area of thickness	40 mm bis/to 50 mm	0,15 m x 0,15 m	20 °C, 95 % r.F. (7 d) anschließend 20 °C 65 % r.F. 20 °C, 95 % r.h. (7 d) then 20 °C 65 % r.h.	V10*	
		0,2 m x 0,2 m	28 d bei 10 °C, 80 % r.F. anschließend 20 °C, 65 % r.F. 28 d at 10 °C, 80 % r.h. then 20 °C, 65 % r.h.	V6	n.b.
		0,3 m x 0,3 m	20 °C, 65 % r.F. 20 °C, 65 % r.h.	V5, V8, V9, V11	
		0,4 m x 0,4 m	20 °C, 65 % r.F. 20 °C, 65 % r.h.	V7	
		6 m x 3 m	16 °C bis 22 °C 35 % r.F. bis 65 % r.F. 16 °C to 22 °C 35 % r.h. to 65 % r.h.	V6	n.b.
	80 mm	1 m x 0,7 m	DIN EN 18560-1:2004	V1, V3, V4	V1, V4
		Klimakammer 10 °C (14 d) anschließend 20 °C Climatic chamber 10 °C (14 d) then 20 °C	V3	n.b.	
Prismen Prisms	40 mm x 40 mm x 160 mm	DIN EN 18560-1:2004	V1, V2, V3, V4	n.b.	
		Klimakammer 10 °C (14 d) anschließend 20 °C Climatic chamber 10 °C (14 d) then 20 °C			

n.b.: nicht bestimmt/not determined

*: Bei V10-B nur 24 h bei 95 % r.F./For V10-B only 24 h at 95 % r.h.

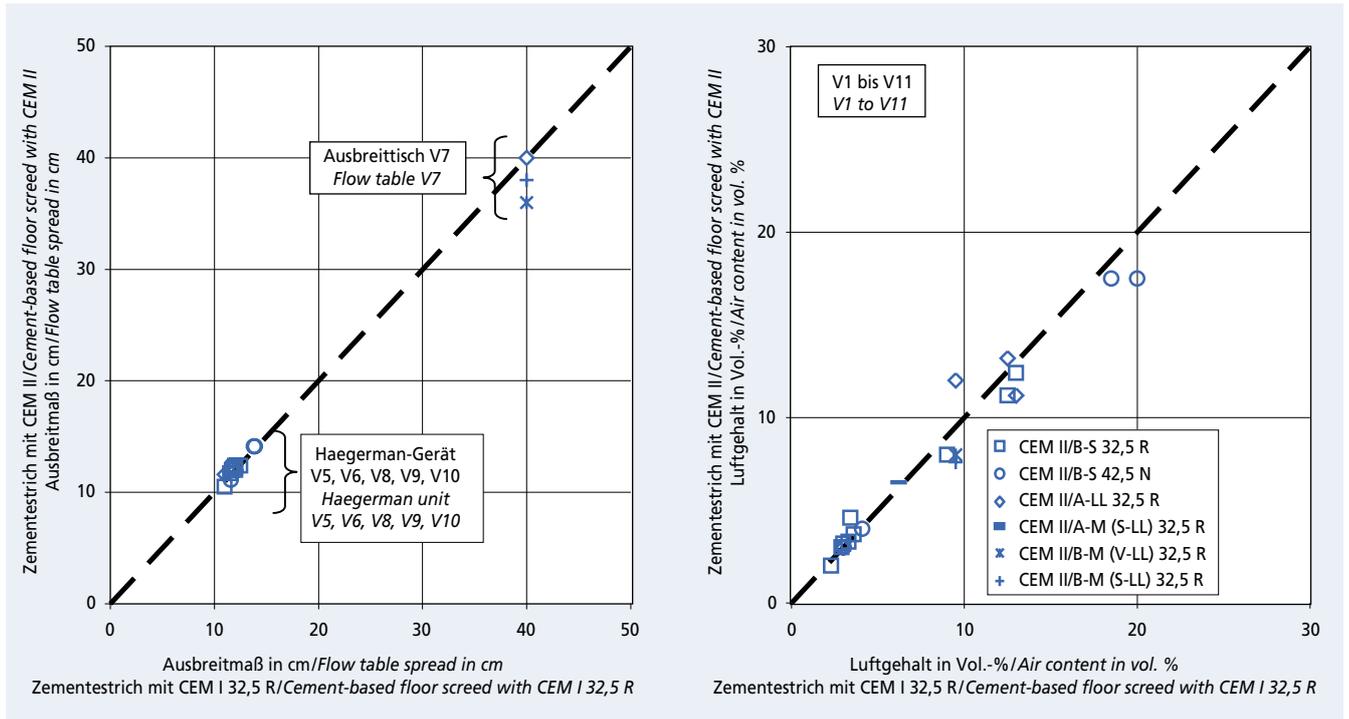


Bild 1: Ausbreitmaß und Luftgehalt zementgebundener Estriche
Figure 1: Flow table spread and air content of cement-based floor screeds

here Mahlfeinheit kann zu einem Anstieg des Wasseranspruchs der Zemente in der Normprüfung führen. Auf den Wasserbedarf des Mörtels hat dieser Effekt meist keinen Einfluss, da die Verarbeitungseigenschaften eines Mörtels maßgeblich von seiner Zusammensetzung und den Eigenschaften aller Bestandteile bestimmt werden. Dies wird hier bestätigt. Bild 1 zeigt die Ergebnisse

not influence the water demand of the mortar, as the workability properties of a mortar are basically determined by its composition and the properties of all the constituents. This has been confirmed by these investigations. Fig. 1 shows the results of consistency measurements and air content obtained in the comparative investigations.

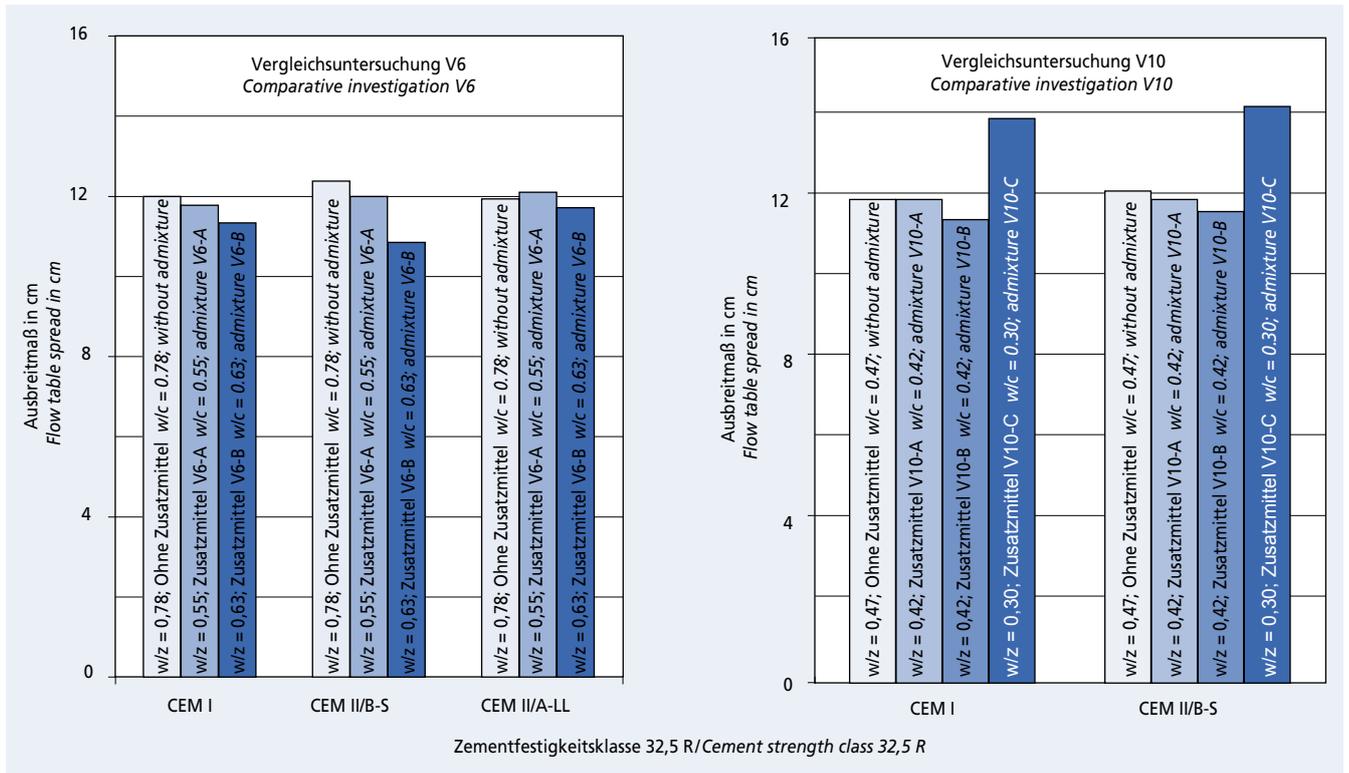


Bild 2: Verarbeitbarkeit (Ausbreitmaß) zementgebundener Estriche
Figure 2: Workability (flow table spread) of cement-based floor screeds

der Konsistenzmessung und des Luftgehalts der Vergleichsuntersuchungen.

Die Bilder 2 und 3 zeigen, dass der Zementeinfluss auf die Konsistenz (Ausbreitmaß) und auf den Luftgehalt deutlich geringer ausfällt als z.B. der Einfluss des Wasserzementwerts oder die Verwendung von Zusatzmitteln.

5.3 Ansteifen, Erstarren, Erhärten

Durch eine niedrige bzw. hohe Frischmörteltemperatur werden das Ansteifen sowie das Erstarren und Erhärten verzögert bzw. beschleunigt. Bei niedrigen Temperaturen ist mit einer Abnahme der Verarbeitbarkeit und der Festigkeit unabhängig von der Zementart bei gleicher Zusammensetzung zu rechnen. Die Bilder 4 und 5 zeigen, dass sich die bekannten Zusammenhänge auch bei Zementestrich unabhängig von der Zementart einstellen.

5.4 Festigkeit

Die Festigkeitsentwicklung von Betonen mit CEM II- und CEM III/A-Zementen ist unter baupraktischen Bedingungen vergleichbar mit der von CEM I-Betonen. Bild 6 zeigt den Vergleich der altersabhängigen Druck- und Biegezugfestigkeit verschiedener Zementestriche mit Portlandkompositzementen und Portlandzement, die vergleichbare Zusammensetzungen und Lagerungsbedingungen aufweisen. Die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen bei der Eignungs- und Bestätigungsprüfung an Estrichflächen sind exemplarisch in Bild 7 dargestellt. Bei gleicher Estrichzusammensetzung und vergleichbaren Lagerungsbedingungen ist der Einfluss der Zementart auf die Festigkeitsergebnisse nicht systematisch.

Bild 8 zeigt, dass die Biegezugfestigkeit von Normprismen bzw. von Prismen aus der Herstellung von Versuchsflächen höher ist als die Biegezugfestigkeit bei der Bestätigungsprüfung. Während in der Normprüfung der Estriche aus Portlandkompositzementen zum Teil höhere Biegezugfestigkeiten im Vergleich zum Portlandzement ermittelt wurden, konnte bei der Bestätigungsprüfung praktisch kein Zementeinfluss festgestellt werden.

5.5 Verformungsverhalten

Bild 9 zeigt die Ergebnisse des Verformungsverhaltens unter kurzzeitiger einachsiger Druckbeanspruchung gemessen als Elastizitätsmodul (s. Abs. 4.2.4). Bild 10 zeigt die Ergebnisse der Messungen der Untersuchungen zum Schwinden (s. Abs. 4.2.5). Die

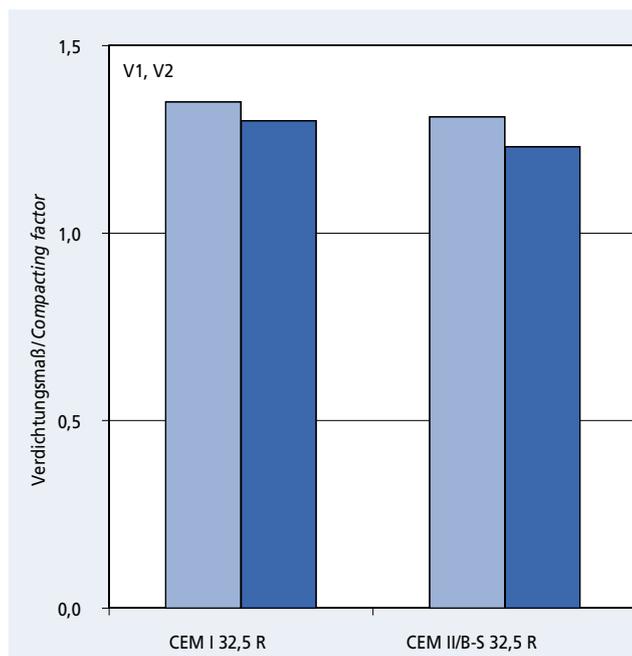


Bild 4: Einfluss der Temperatur auf die Verarbeitbarkeit (Verdichtungsmaß) und den Luftgehalt
Figure 4: Influence of temperature on the workability (compacting factor) and air content

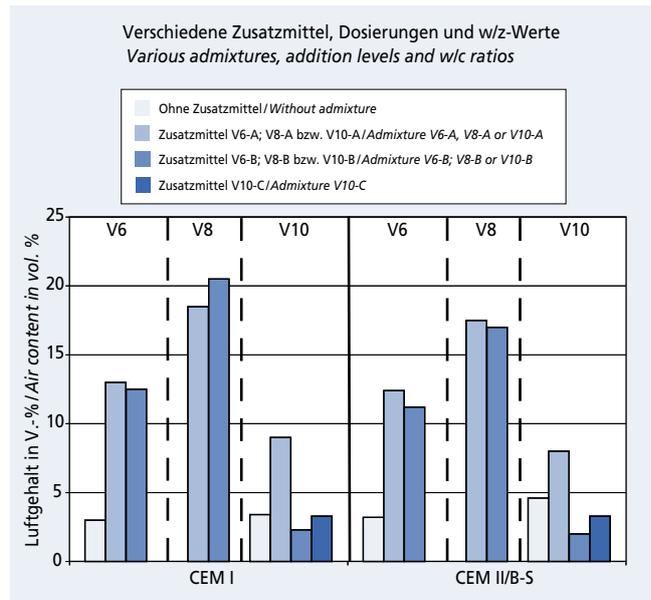


Bild 3: Luftgehalt zementgebundener Estriche in Abhängigkeit des Zusatzmittels

Figure 3: Air content of cement-based floor screeds in relation to the admixture

Figs. 2 and 3 show that the influence of cement on consistency (flow table spread) and on air content is much lower, for example, than the influence of the water/cement ratio or the use of admixtures.

5.3 Early stiffening, setting, hardening

The early stiffening, setting and hardening of mortars are retarded or accelerated respectively by low or high fresh mortar temperatures. For the same composition, a decrease in workability and strength is to be expected at low temperatures, irrespective of the type of cement used. Figs. 4 and 5 show that the same familiar correlations also occur with cement-based floor screeds, irrespective of the cement type used.

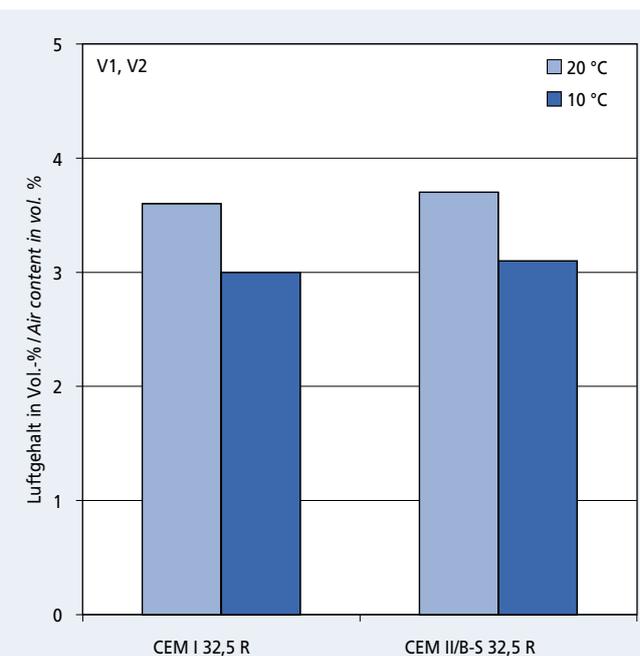


Bild 4: Einfluss der Temperatur auf die Verarbeitbarkeit (Verdichtungsmaß) und den Luftgehalt
Figure 4: Influence of temperature on the workability (compacting factor) and air content

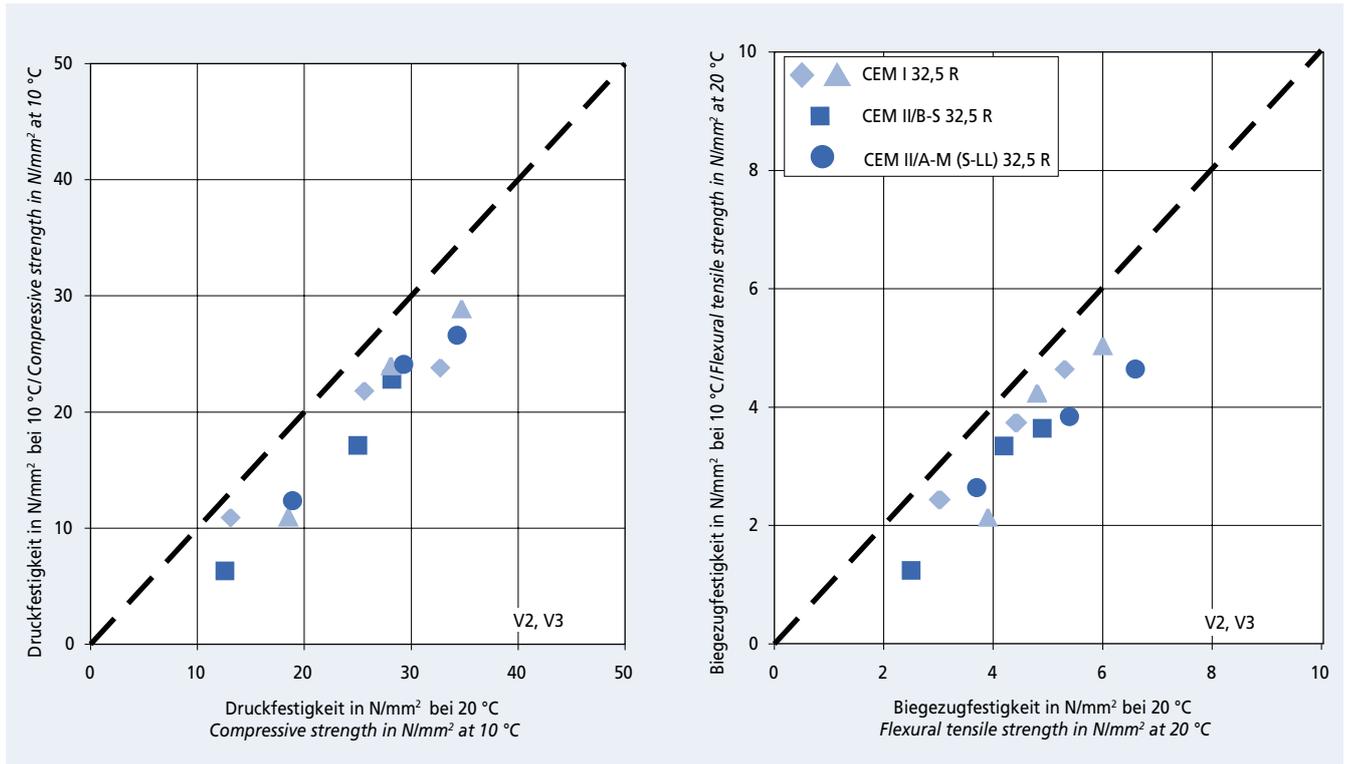


Bild 5: Einfluss der Temperatur auf die Druck- und die Biegezugfestigkeit
Figure 5: Influence of temperature on the compressive and flexural tensile strengths

Bilder 11 und 12 zeigen die Ergebnisse der Bestimmung der Durchbiegung der Estriche und der horizontalen und vertikalen Messungen an Versuchsflächen. In keinem der gezeigten Vergleiche konnte ein systematischer Einfluss der Zementart festgestellt werden.

5.4 Strength

The strength development of concretes made with CEM II and CEM III/A cements is, under conditions encountered in practice in construction, comparable with that of CEM I concrete. Fig. 6 compares the compressive and flexural tensile strengths in relation

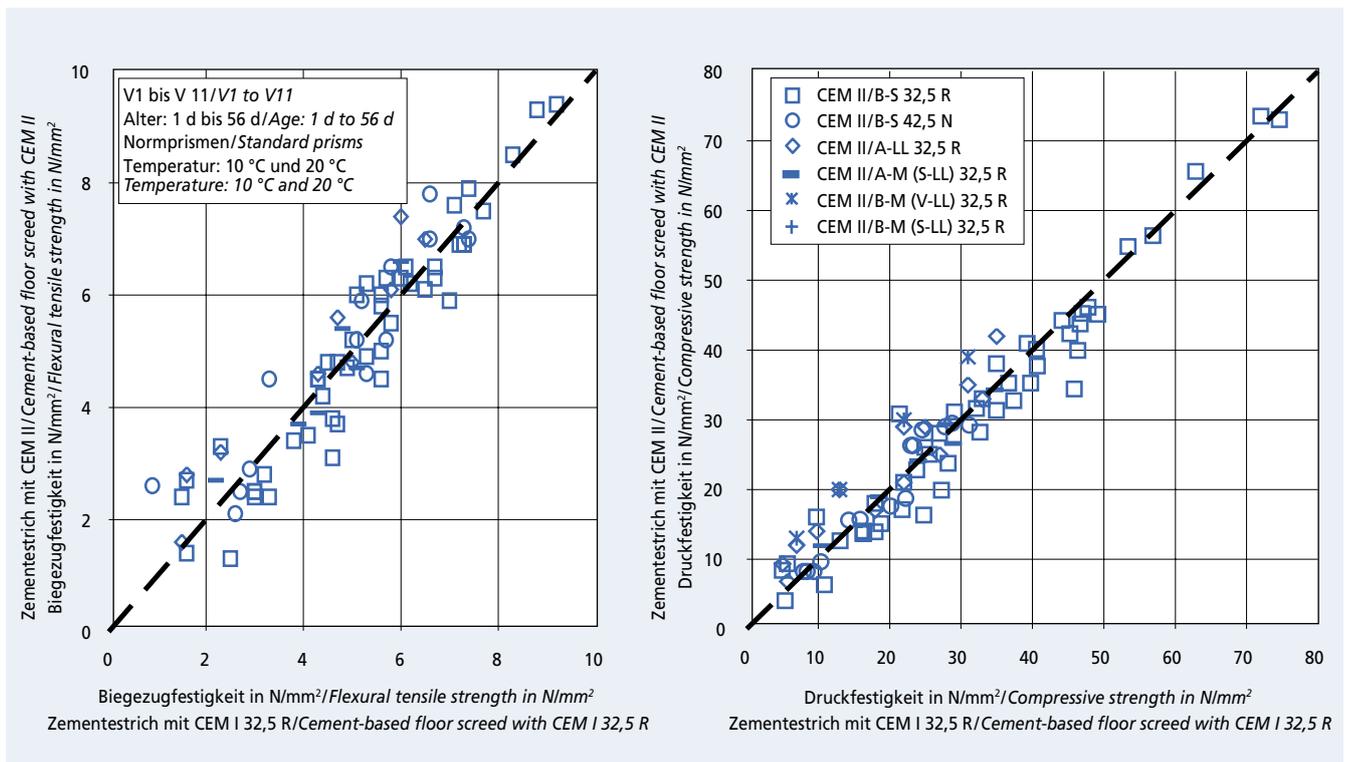


Bild 6: Biegezug- und Druckfestigkeit zementgebundener Estriche
Figure 6: Flexural tensile and compressive strengths of cement-based floor screeds

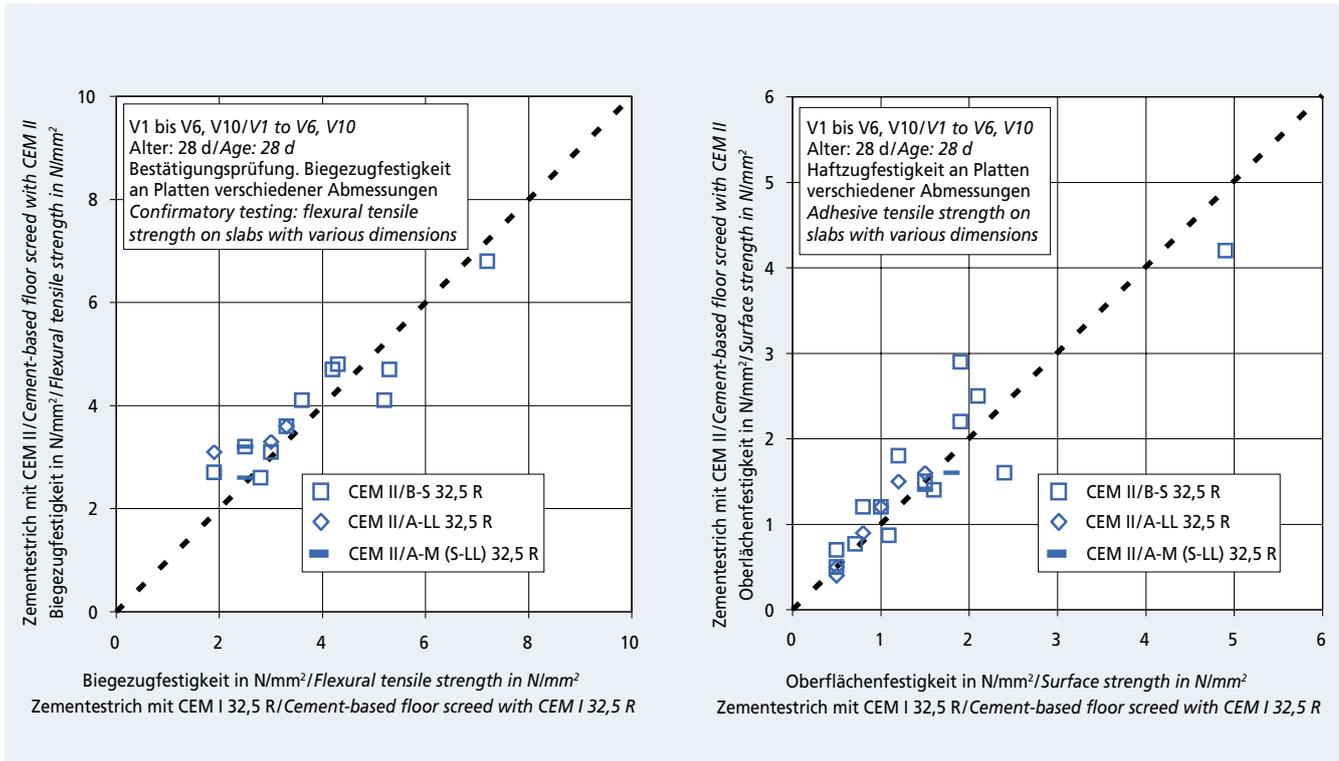


Bild 7: Bestätigungsprüfung als Biegezugfestigkeit und Oberflächenfestigkeit als Haftzugfestigkeit zementgebundener Estriche
Figure 7: Verification testing as flexural tensile strength, and surface strength as adhesive tensile strength of cement-based floor screeds

5.6 Feuchtegehalt

Abhängig von den Austrocknungsbedingungen stellt sich ein Feuchtegehalt ein, der vom Wassergehalt, der Estrichdicke und den Umweltbedingungen abhängig ist. In der Praxis wird der Feuchtegehalt als Restfeuchte betrachtet.

Bei der Trocknung bei 105 °C wird sowohl das gesamte Kapillarwasser als auch das physikalisch gebundene, d.h. unter normalen Umweltbedingungen nicht verdampfbare Wasser erfasst. Die

to age of different cement-based floor screeds made with Portland composite cements and Portland cement that have comparable compositions and storage conditions. The results of the strength tests performed as part of the suitability and confirmatory testing on floor screed slabs are shown by way of example in Fig. 7. With the same floor screed composition and comparable storage conditions, the influence of the type of cement used on the strength results was not consistent.

Fig. 8 shows that the flexural tensile strength of standard prisms or of prisms obtained from the production of test slabs is higher than the flexural tensile strength measured in confirmatory testing. The flexural tensile strengths established for the floor screeds produced from Portland composite cements were in some cases higher than those established for Portland cement during standard testing but during the confirmatory testing it was found that the cement had almost no influence.

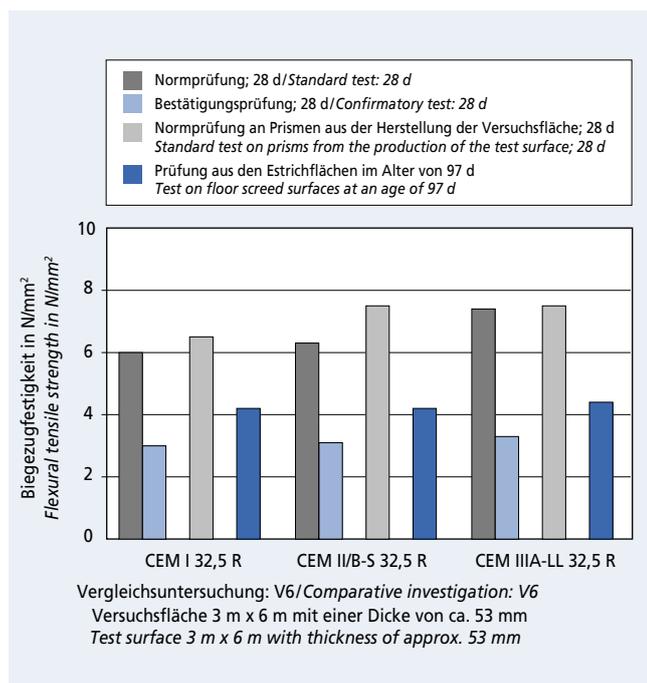


Bild 8: Eigenschaften von Estrichflächen: Biegezugfestigkeit
Figure 8: Properties of floor screed surfaces: flexural tensile strength

5.5 Deformation behaviour

Fig. 9 shows the results of the deformation behaviour test carried out under short-term, uniaxial pressure loading, measured as the modulus of elasticity (see Section 4.2.4). Fig. 10 shows the results of measurements performed in the shrinkage investigations (see Section 4.2.5). Figs. 11 and 12 show the measurements of the deflection of the floor screeds and the horizontal and vertical measurements of test slabs. The cement type was not found to have a consistent influence in any of the comparisons.

5.6 Moisture content

Depending on the drying conditions, a moisture content was established that was dependent on the water content, floor screed thickness and environmental conditions. In practice, the moisture content is viewed as residual moisture.

When the floor screeds were dried at 105 °C, all the capillary water and also the physically bound water, i.e. water that cannot evaporate under normal environmental conditions, was recorded. Figs. 13 and 14 show that the influence of cement on the residual moisture measured by kiln drying at 105 °C is not significant, irrespective of age, testing geometry and storage conditions.

Bilder 13 und 14 zeigen, dass der Zementeinfluss auf die durch Ofentrocknung bei 105 °C ermittelte Restfeuchte unabhängig von Alter, Prüfgeometrie und Lagerungsbedingungen nicht signifikant ist.

Die Bilder 14 und 15 zeigen, dass der w/z-Wert einen maßgeblichen Einfluss auf das Austrocknen des Estrichs bei gleich bleibenden Umweltbedingungen hat. Bei vergleichbaren w/z-Werten (0,78 bei V5 und 0,79 bei V6) ist die hohe relative Luftfeuchte bei V6 entscheidend (s. Tafel 7). Es konnte kein signifikanter Einfluss

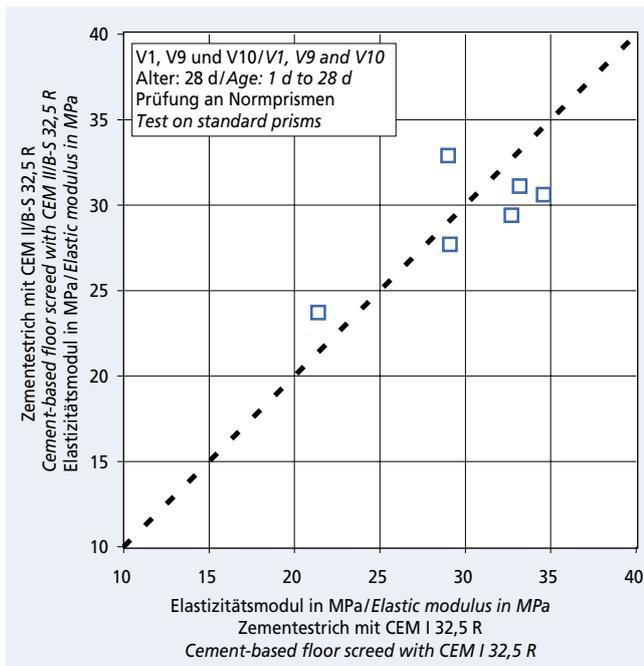


Bild 9: Elastizitätsmodul zementgebundener Estriche
Figure 9: Elastic modulus of cement-based floor screeds

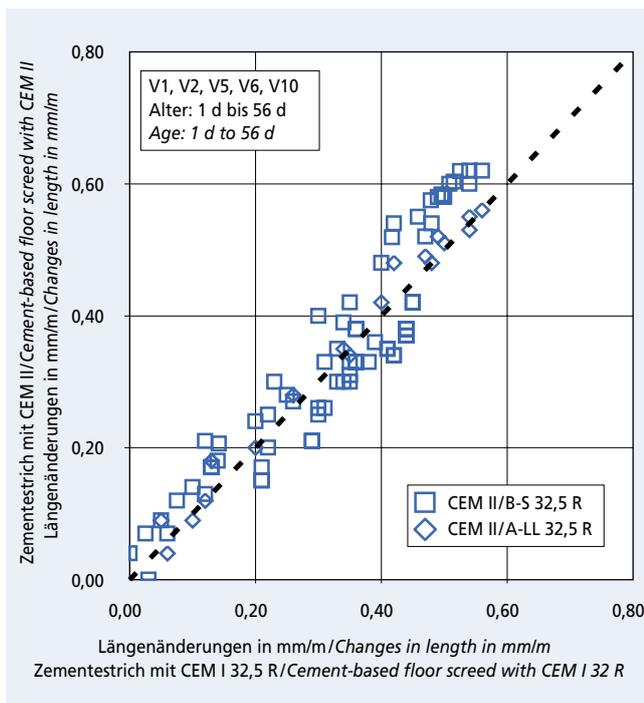


Bild 10: Längenänderungen (Schwinden) zementgebundener Estriche
Figure 10: Changes in length (shrinkage) of cement-based floor screeds

Figs. 14 and 15 show that the w/c ratio has a major effect on the drying of floor screeds under constant environmental conditions. At comparable w/c ratios, (0,78 in V5 and 0,79 in V6), the high relative atmospheric humidity for V6 is a crucial factor (see Table 7). No significant influence of the cement could be detected under identical production and test conditions. The moisture content was clearly affected to a greater extent by the admixture. The influence of the different test piece geometries, storage conditions and compositions cannot be identified clearly from the test results.

Fig. 16 shows that the residual moisture measured using the CM method at the same testing age and under identical test conditions was lower than the residual moisture measured by drying at 105 °C. It is not possible to derive a clearly quantifiable correlation between the moisture content measured using the CM method and that measured by kiln drying on the basis of this figure, which shows the results obtained with different test pieces, under different storage and test conditions, and at different ages. The correlations found in the literature are based on test pieces that had been specifically prepared for drying by comminution of the upper and lower layers of the samples to specific particle sizes, or occasionally also by interrupting the hydration process before drying in order to avoid the results being distorted by the progress of the hydration reaction at an early age [8-10]. Fig. 16 shows that the cement type used does not exert a consistent influence.

Corresponding investigations were also carried out for CEM III/A cements in comparison to CEM II/B-S cements. Table 8 shows the results for residual moisture, compressive and flexural tensile strength of these floor screed mortars. The floor screed mortar made with CEM III/A cement did not exhibit significantly different behaviour from that made with CEM II/B-S cement.

6 Summary

Investigations carried out on cement-based floor screeds were evaluated at the Research Institute of the Cement Industry. The investigations were carried out in the laboratory, sometimes under conditions resembling those on a building site. The evaluation was based on investigations that were carried out or commissioned by member companies of the VDZ (German Cement Works Association) from 1998 to 2008. The fresh mortar properties of bulk

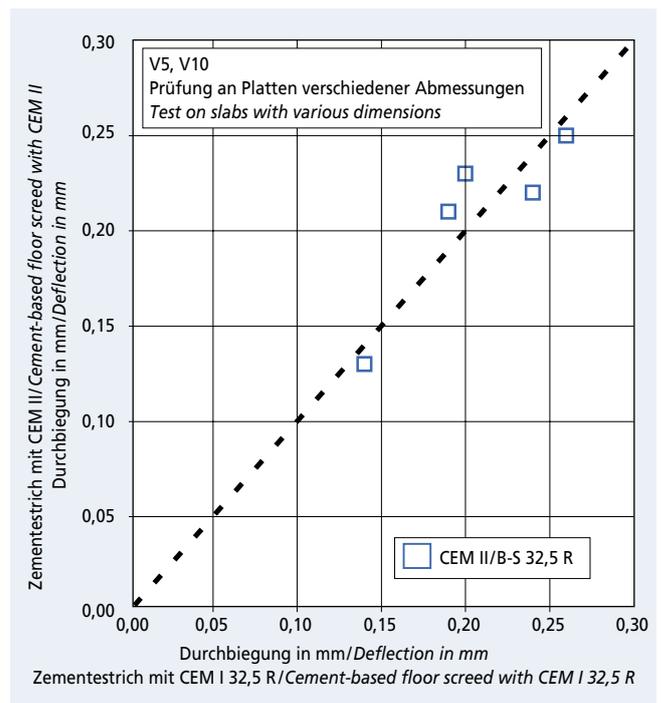


Bild 11: Durchbiegung zementgebundener Estriche
Figure 11: Deflection of cement-based floor screeds

des Zements bei gleichen Herstellungs- und Prüfbedingungen festgestellt werden. Der Feuchtegehalt wurde offenbar mehr vom Zusatzmittel beeinflusst. Der Einfluss der unterschiedlichen Prüfkörpergeometrien, Lagerungen und Zusammensetzungen kann aus den Ergebnissen nicht eindeutig getrennt werden.

density, consistency and air content were evaluated. Moreover, the flexural-tensile and compressive strengths, surface strength, modulus of elasticity, shrinkage and residual moisture content in relation to the age were determined. The results can be summarized as follows:

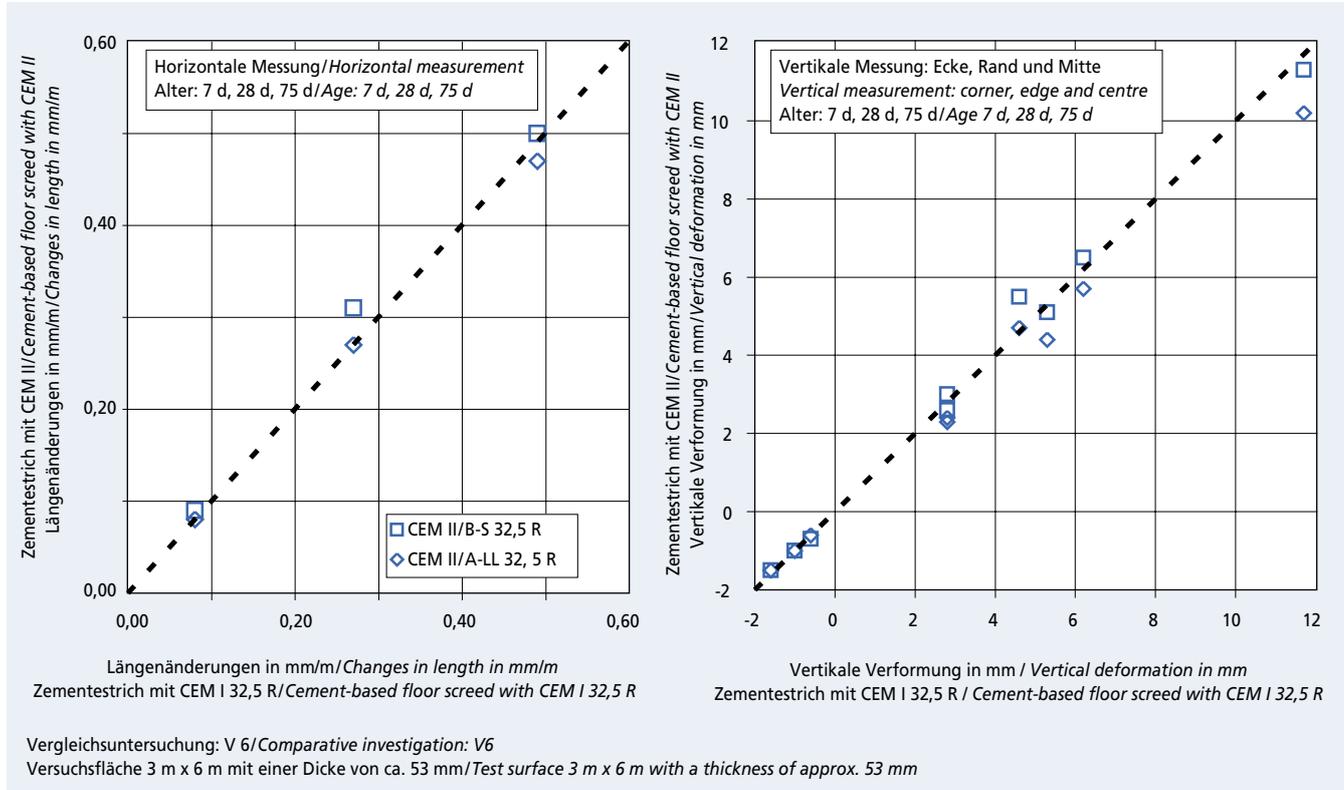


Bild 12: Horizontale und vertikale Verformungen zementgebundener Estriche
Figure 12: Horizontal and vertical deformation of cement-based floor screeds

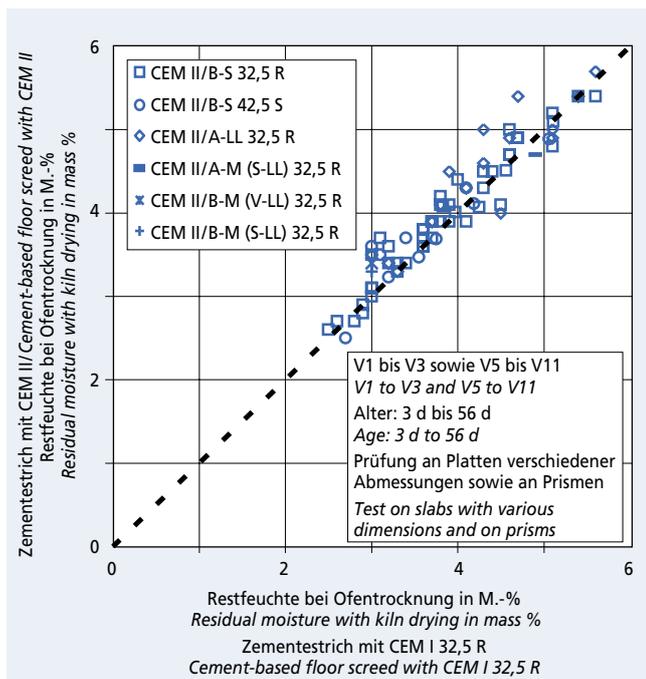


Bild 13: Restfeuchte bei Ofentrocknung (105 °C) zementgebundener Estriche
Figure 13: Residual moisture content with kiln drying (105 °C) of cement-based floor screeds

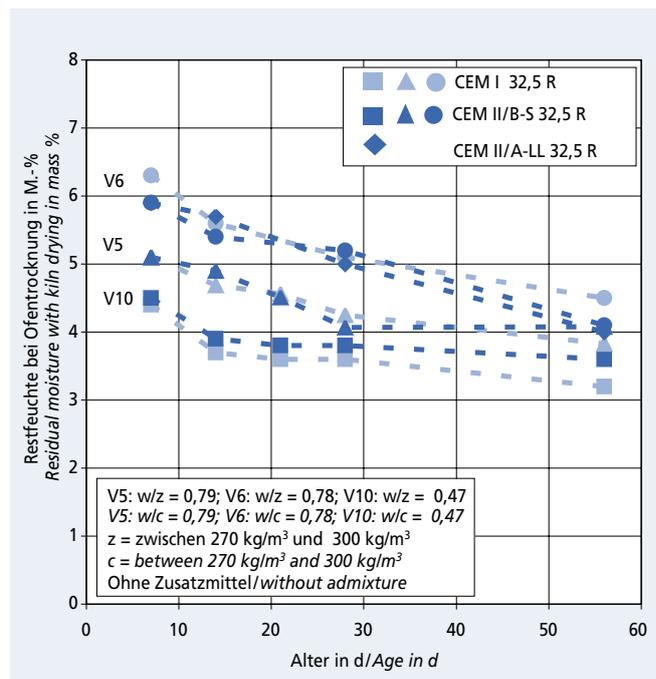


Bild 14: Altersabhängige Restfeuchte bei Ofentrocknung (105 °C) (Mischungen ohne Zusatzmittel)
Figure 14: Residual moisture content with kiln drying (105 °C) in relation to the age (mixes without admixtures)

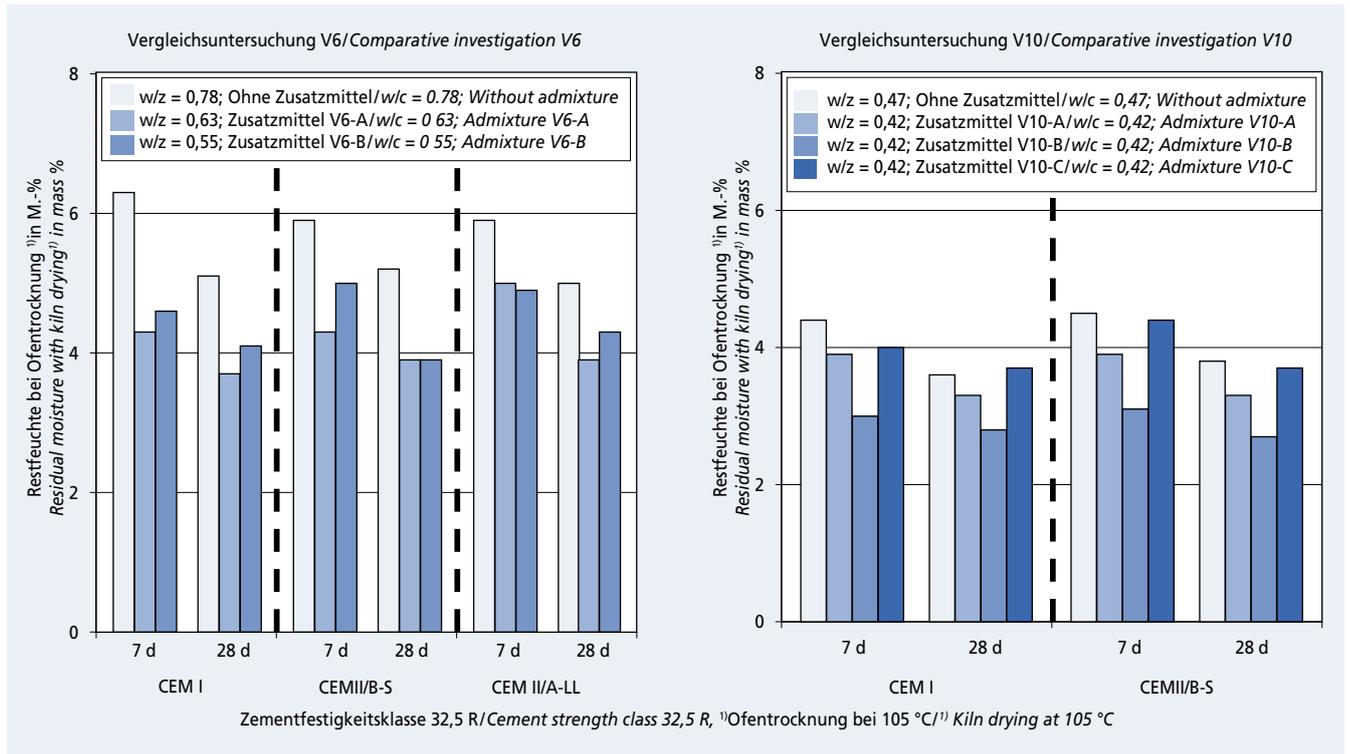


Bild 15: Restfeuchte bei Ofentrocknung bei den Untersuchungen mit und ohne Zusatzmittel
Figure 15: Residual moisture content with kiln drying in the investigations with and without admixtures

Bild 16 zeigt, dass die mit der CM-Methode ermittelte Restfeuchte zum gleichen Prüfmater bei jeweils identischen Prüfbedingungen niedriger als die durch Trocknung bei 105 °C ermittelte Restfeuchte ist. Eine eindeutig quantifizierbare Korrelation zwischen der Feuchte nach der CM-Methode und der Ofentrocknung kann anhand dieses Bilds, das Ergebnisse bei unterschiedlichen Prüfkörpern, Lagerungs- und Prüfbedingungen sowie Prüfmater zeigt, nicht abgeleitet werden. Die in der Literatur angegebenen Korrelationen basieren auf einer bestimmten Vorbereitung der Prüfkörper für die Trocknung durch Zerkleinerung der oberen und unteren Schichten der Proben auf bestimmte Korngrößen oder manchmal auch durch Abbruch der Hydratation vor der Trocknung, um eine Verfälschung der Ergebnisse durch den Hydratationsfortschritt im früheren Alter zu vermeiden [8-10]. Bild 16 zeigt, dass ein systematischer Einfluss der Zementart nicht gegeben ist.

Entsprechende Untersuchungen wurden auch für CEM III/A-Zemente im Vergleich zum CEM II/B-S durchgeführt. Tafel 8 zeigt die Ergebnisse der Restfeuchte, der Druck- und Biegezugfestigkeit solcher Estrichmörtel. Im Vergleich zu dem Estrichmörtel mit CEM II/B-S zeigte sich kein signifikant anders Verhalten bei Verwendung von CEM III/A.

6 Zusammenfassung

Im Forschungsinstitut der Zementindustrie wurden Untersuchungen an zementgebundenen Estrichen ausgewertet. Basis der Auswertung waren Untersuchungen, die in den Jahren 1998 bis 2008 von VDZ-Mitgliedsunternehmen durchgeführt bzw. beauftragt wurden. Die Untersuchungen wurden im Labor z.T. unter baustellenähnlichen Bedingungen durchgeführt. Ausgewertet wurden die Frischmörtel Eigenschaften Rohdichte, Konsistenz und Luftgehalt. Weiterhin wurden die altersabhängige Biegezug- und Druckfestigkeit, die Oberflächenfestigkeit, der Elastizitätsmodul, das Schwinden und die Restfeuchte bestimmt. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

Die im Untersuchungsprogramm ermittelten bautechnischen Eigenschaften bilden eine wesentliche Datenbasis für zementgebundene Estrichmörtel. Es wurden die bautechnisch

The structural engineering properties measured in the investigative programme form an important database for cement-based floor screed mortars. The constructionally relevant properties of cement floor screeds made with CEM I, CEM II and CEM III/A cements were evaluated. Comparative investigations on cement-based floor screeds made with varying cement compositions, but

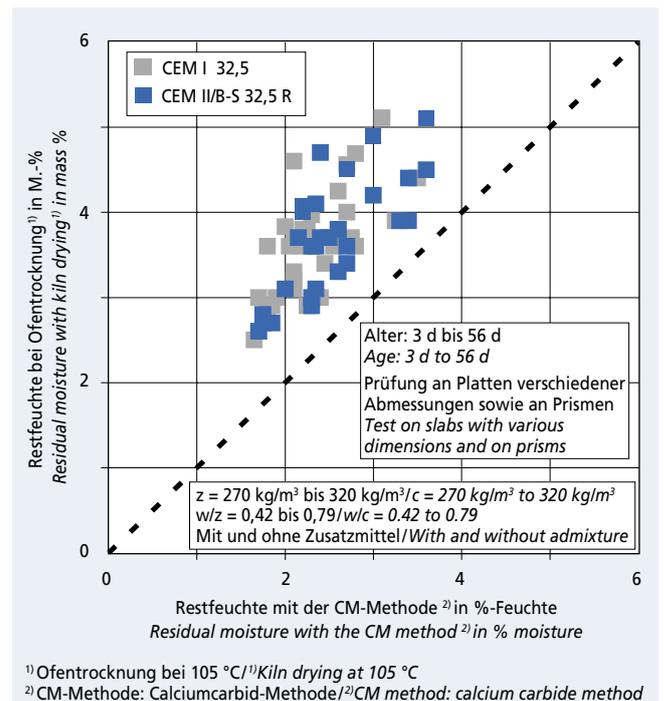


Bild 16: Restfeuchte in Abhängigkeit der verwendeten Prüfmethode
Figure 16: Residual moisture content in relation to the test method used

Tafel 8: Ergebnisse von Estrichmörtel mit CEM II/B-S und CEM III/A im Vergleich

Table 8: Comparison of the results obtained with floor screed mortars using CEM II/B-S and CEM III/A cements

Eigenschaft Property	Alter Age	CEM II/B-S 32,5 R		CEM III/A 42,5 N	
		Erst- prüfung Initial test	Erhär- tungs- prüfung Hardening test	Erst- prüfung Initial test	Erhär- tungs- prüfung Hardening test
Druckfestigkeit in N/mm ² Compressive strength in N/mm ²	3 d	13,4	16,7	14,4	15,4
	7 d	20,5	22,8	25,7	24,7
	28 d	21,7	24,4	30,6	26,4
Biegezugfestigkeit in N/mm ² Flexural tensile strength in N/mm ²	3 d	2,9	3,3	2,9	3,4
	7 d	3,9	4,3	4,4	4,2
	28 d	4,4	4,3	5,1	4,5
Restfeuchte ¹⁾ in M.-% Residual moisture ¹⁾ in mass %	3 d	4,7	4,2	4,8	4,3
	7 d	4,5	3,3	4,5	3,2
	28 d	3,9	1,8	4,1	1,8

V4: $z = 300 \text{ kg/m}^3$, $w/z = 0,57$ ¹⁾ Ofentrocknung bei 105 °C¹⁾ Kiln drying at 105 °C

relevanten Eigenschaften von Zementestrichen mit CEM I-, CEM II- und CEM III/A-Zementen ausgewertet. Es wurden Vergleichsuntersuchungen an zementgebundenen Estrichen mit variierenden Zementzusammensetzungen, jedoch ansonsten jeweils gleicher Zusammensetzung der Estriche und identischen Herstellungs- und Prüfbedingungen analysiert. Dabei konnte ein signifikanter Zementarteinfluss nicht abgeleitet werden. Die Ergebnisse bestätigen die grundsätzliche Eignung von Portlandzement, Portlandkomposit- und Hochofenzementen für die Herstellung von Estrichmörtel, wie auch in anderen Gebieten der Betonbautechnik [5].

Die Eignung eines Estrichmörtels sollte in einer Erstprüfung bestätigt werden [2]. Rahmenbedingungen wie Einbau- bzw. Baustellenbedingungen, die einen wesentlichen Einfluss haben, sollten in die Überlegungen einbezogen werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den VDZ-Mitgliedsunternehmen für die zur Verfügung gestellten Daten und die Kooperation bei der Erstellung dieses Berichts.

Literatur / Literature

- [1] BEB-Merkblatt „Hinweise zur Auswahl von Zementen für die Estrichherstellung im Wohnungs- und Verwaltungsbau“ 09/2002, Troisdorf 2002
- [2] Bundesverband Estrich und Belag und Verein Deutscher Zementwerke Leitfadens zur Herstellung von Zementestrichmörteln im Innenbereich. Stand Mai 2009. Bundesverband Estrich und Belag e.V., Verein Deutscher Zementwerke e.V.
- [3] BEB-Merkblatt „Oberflächenzug- und Haftzugfestigkeit von Fußböden. Allgemeines, Prüfung, Einflüsse, Beurteilung.“ Troisdorf, November 2004
- [4] BEB-Arbeitsanweisung: CM-Messung. BEB, Troisdorf, Februar 2005
- [5] Verein Deutscher Zementwerke: CEM II- und CEM III/A-Zemente im Betonbau. Düsseldorf, Verlag Bau+Technik 2008
- [6] Concrete industrial ground floors. A guide to design and construction. Concrete Society Technical Report No. 34. Surrey, The Concrete Society 2003.
- [7] Bilgeri, P.; Eickschen, E. et al.: Verwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen in Fahrbetondecken. Beton-Informationen 47 (2007) H. 2, S. 15–31
- [8] Schneider, H.; Schnell, W.; Diem, P.: Untersuchungen über den Austrocknungsverlauf von Estrichen bei den Versuchs- und Vergleichsbauten Schwäbisch Gmünd. Otto-Graf-Institut an der Universität Stuttgart. Schriftenreihe des Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau „Berichte aus der Bauforschung“. Heft 81, Verlag Ernst & Sohn. Berlin, München, Düsseldorf 1972
- [9] Schnell, W.: Zur Ermittlung von Belegreife und Ausgleichsfeuchte von mineralisch gebundenen Estrichen, Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung, Troisdorf 1984
- [10] Nischer, P.: Ermittlung des Wassergehalts von erhärtetem Beton mit dem Karbidverfahren. Austrocknung von Beton. Beton und Stahlbetonbau 83 (1988) H. 12. S. 331–333