

# Estrichuntersuchungen im Labor und Praxiserprobungen mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R

Von Ditmar Hornung, Wiesbaden, Michael Knobel, Feldkirch, Egbert Müller, Troisdorf, Frank Seifert, Weimar, und Peter Zweihaus, Lengerich

## 1 Einleitung

Ein besonderer Anwendungsbereich von CEM I 32,5 R-Zementen war in der Vergangenheit der Estrichbau. Gegenüber dem traditionellen Betonbau weist dieses Anwendungsfeld einige Besonderheiten auf.

- Estriche sind sehr dünne Bauteile von nur wenigen cm Dicke.
- Bei Estrichen werden hohe Anforderungen an das Verformungsverhalten (Schwinden, Schüsseln) und
- hohe Anforderungen an das Austrocknungsverhalten (Belegreife für Oberbelag) gestellt.
- Estriche benötigen hohe Haftzugfestigkeiten (Verbund zum Oberbelag).

Wird für die Estrichherstellung ein Wechsel der Zementart vorgenommen – z.B. um Reduzierungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Zementherstellung zu bewirken – erfordert dies eine eingehende Beschäftigung mit den Besonderheiten dieser Bauteile. Um das Verhalten von Estrichen, die mit CEM II-Zementen hergestellt werden, im Vergleich zu Estrichen, die mit CEM I-Zementen hergestellt werden, abzuklären, haben die Zement- und Estrichindustrie in der Vergangenheit viele Untersuchungen durchgeführt. Nachfolgend wird ein Vergleich der Eigenschaften von Estrichen vorgestellt, die einerseits mit einem CEM I 32,5 R und andererseits

mit einem CEM II/B-S 32,5 R hergestellt wurden.

Es wurden bewusst zwei Zemente eines Herstellers gewählt, die sich im Wesentlichen nur durch die Zugabe von ca. 25 % Hüttensandmehl beim CEM II/B-S 32,5 R unterscheiden. Somit können die Effekte ausschließlich dem Wechsel der Zementart von CEM I zu CEM II/B-S zugeordnet werden und sind frei von Einflüssen aus einer anderen Klinkerprovenienz, z.B. beim Vergleich von zwei Zementen unterschiedlicher Hersteller. Die umfangreichen Vergleichsuntersuchungen wurden nacheinander in zwei Programmen durchgeführt:

1. Estrichvergleichsuntersuchungen mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R ohne Zusatzmittel, Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung Troisdorf [1] (siehe Abschnitt 2)
2. Estrichvergleichsuntersuchungen mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R mit Zusatzmittel, MFPA Weimar der Bauhausuniversität Weimar [2–6] (siehe Abschnitt 3).

Tafel 1: Frischmörtel­eigenschaften der untersuchten Estrichmörtel nach [7]

Eigenschaften		Zementestrich mit	
		CEM I 32,5 R	CEM II/B-S 32,5 R
Ausbreitmaß	cm	12,5	12,4
Rohdichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,31	2,30
Luftgehalt	%	2,9	3,0
w/z-Wert		0,78	0,78

Parallel zu den Laborprogrammen wurden die Estriche mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R vergleichend in praktischen Bauvorhaben eingesetzt und bewertet (siehe Abschnitt 4).

## 2 Vergleichende Estrichuntersuchungen mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R ohne Zusatzmittel

### 2.1 Untersuchungsprogramm

Für die Untersuchungen [1] wurden zwei Zementestriche mit gleicher Zusammensetzung hergestellt. Der Unterschied lag lediglich in der Art des verwendeten Zements (CEM I 32,5 R bzw. CEM II/B-S 32,5 R). Es wurde eine Gesteinskörnung 0/8 mm (Regelsieblinie B8 nach DIN 1045-2) eingesetzt. Die Zementestriche wurden mit praxisüblicher plastischer Konsistenz in einem Mischungsverhältnis Wasser/Zement = 0,78 und Zement/Gesteinskörnung = 1/6,5 Masseanteile hergestellt.

An den Zementestrichen wurden folgende Eigenschaften vergleichend untersucht und bewertet:

- Frischmörtel­eigenschaften
- Rohdichte, Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit
- statischer Elastizitätsmodul
- Verformungsverhalten (Schwinden, Schüsseln, Durchbiegung)
- Oberflächenzugfestigkeit
- Austrocknungsverhalten

Tafel 2: Rohdichte, Biegezug- und Druckfestigkeit der untersuchten Estrichmörtel nach [8]

Eigenschaften		Zementestrich mit											
		CEM I 32,5 R						CEM II/B-S 32,5 R					
Prüfalter	d	1	3	7	14	28	56	1	3	7	14	28	56
Rohdichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,27	2,25	2,26	2,19	2,18	2,20	2,26	2,26	2,26	2,22	2,19	2,17
Biegezugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	1,6	4,1	5,6	6,1	7,3	7,3	1,4	3,5	4,5	6,5	6,9	6,5
Druckfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	5,4	16,3	27,3	37,4	36,7	38,3	4,0	13,7	19,9	32,7	35,2	32,3

Die Untersuchungen wurden 2006 am Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung Troisdorf durchgeführt [1].

## 2.2 Frischmörteleigenschaften

Tafel 1 enthält die nach [7] ermittelten Frischmörteleigenschaften.

Zwischen den Zementestrichen – hergestellt mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R – bestehen bei den Frischmörteleigenschaften keine signifikanten Unterschiede.

## 2.3 Biegezug- und Druckfestigkeit

Die Ermittlung der Biegezug- und Druckfestigkeit erfolgte gemäß [8] an Prismen (4 cm x 4 cm x 16 cm). Tafel 2 enthält die Prüfergebnisse, die eine vergleichbare Festigkeitsentwicklung der beiden Estriche

Tafel 3: Statischer Elastizitätsmodul der untersuchten Estrichmörtel nach [11]

Eigenschaft		Zementestrich mit	
		CEM I 32,5 R	CEM II/B-S 32,5 R
Statischer Elastizitätsmodul	N/mm <sup>2</sup>	21.400	23.700

ausweisen. Der Abfall der Biegezug- und Druckfestigkeit von 28 Tagen auf 56 Tage beim Estrich mit CEM II/B-S 32,5 R ist aus der Zementhydratation heraus nicht erklärbar und hat prüftechnische Ursachen (niedrige Rohdichte).

Beide Zementestriche erreichen im Alter von 28 Tagen die für einen CT-C35-F5 mindestens erforderlichen Festigkeiten.

## 2.4 Statischer Elastizitätsmodul

Der statische Elastizitätsmodul wurde nach Lagerung der Prismen ge-

mäß [9] im Alter von 28 Tagen nach [10] geprüft.

Die in Tafel 3 enthaltenen Ergebnisse weisen für den Estrich mit CEM II/B-S 32,5 R einen geringfügig höheren Wert für den statischen Elastizitätsmodul aus.

## 2.5 Verformungsverhalten

### 2.5.1 Längenänderung nach Graf-Kaufmann

Die Längenänderung nach Graf-Kaufmann wurde an Prismen 4 cm x 4 cm x 16 cm, die nach [9] hergestellt und im Normklima nach DIN 50014 (20 °C, 65 % r.F., Klasse 2) gelagert worden waren, bis zum Alter von 56 Tagen nach [12] gemessen. Das Schwinden war beim Zementestrich mit CEM II/B-S 32,5 R geringfügig höher als beim Zementestrich mit CEM I 32,5 R (Bild 1).

### 2.5.2 Längenänderung in der IBF-Frührschwindrinne

Bei der IBF-Frührschwindrinne handelt es sich um eine 50 cm lange Form mit dem Querschnitt von 4 cm x 4 cm. An einer der beiden Stirnseiten ist eine in den Prüfkörper ragende Schraube mit der Form fest verbunden. An der anderen Stirn-

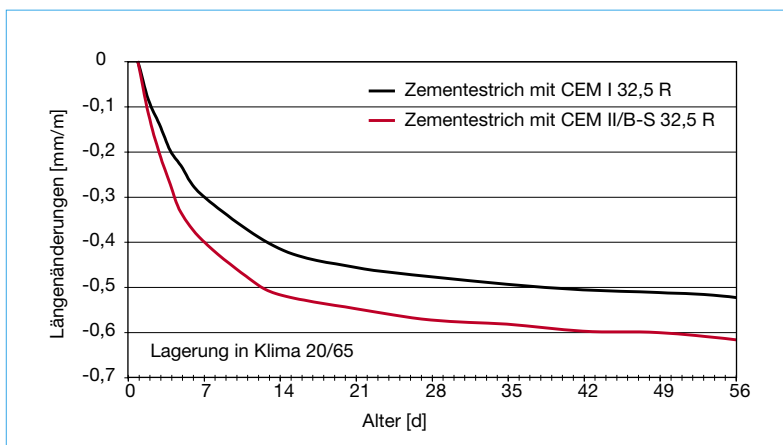


Bild 1: Längenänderung der Zementestriche nach Graf-Kaufmann

seite wird der Abschluss durch eine bewegliche dünne Glasplatte gebildet, deren horizontale Verschiebung mit einer Messuhr erfasst wird. Die Ausgangsmessung erfolgte bei einem Prüfkörperalter von einer Stunde.

**Bild 2** enthält die Messergebnisse bis zum Prüfkörperalter von 56 Tagen. Das Schwinden war beim Estrich mit CEM II/B-S 32,5 R geringfügig höher als beim Estrich mit CEM I 32,5 R.

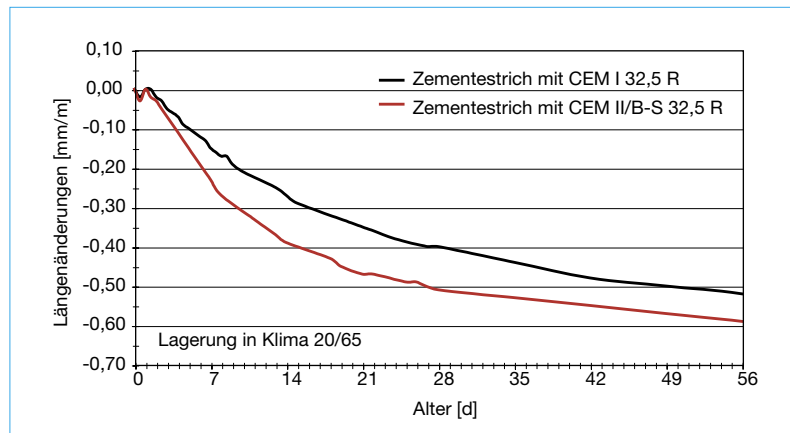


Bild 2: Längenänderung der Zementestriche in der IBF-Frühwindrinne

### 2.5.3 Vertikale Verformung, Durchbiegung und Biegezugfestigkeit (Bestätigungsprüfung)

Von beiden Zementestrichen wurden Probeplatten in einer Größe von 100 cm x 100 cm in einer Holzschalung mit folgendem Aufbau hergestellt:

- 20 - 2 mm Polystyrol-Trittschall-dämmplatten
- 0,1 mm PE-Folie
- 45 mm Zementestrich

Bei der Herstellung der Probeplatten war das Verarbeitungsverhalten der Estriche mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R ähnlich gut. Herstellung und Lagerung der Probeplatten (ohne Abdeckung) erfolgten in einer Prüfhalle bei Raumklima.

Die vertikale Verformung wurde an zwei diagonal gegenüber liegenden Plattenecken im Vergleich zur Plattenmitte bis zu einem Alter von 28 Tagen gemessen.

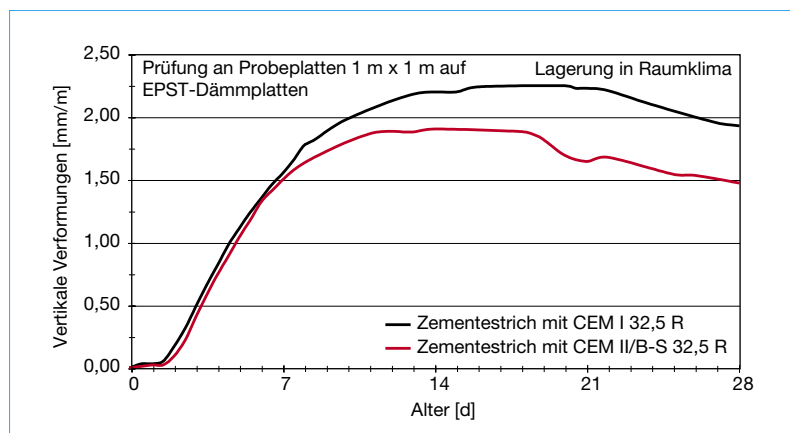


Bild 3: Vertikale Verformung der Zementestriche

**Bild 3** zeigt die Prüfergebnisse, die eine um ca. 25 % geringere Schüsselform des Estrichs mit CEM II/B-S 32,5 R ausweisen. Um mögliche prüfbedingte Ursachen auszuschließen (Unterschiede in der Handverdichtung und/oder Dicke der Estriche) sind weitere Versuche erforderlich.

Die Durchbiegung der Probeplatten wurde nach [7], Abschnitt 6.2, im

Alter von 28 Tagen mit einer mittleren Prüfkraftbelastung von 400 N bestimmt. Die ermittelten Durchbiegungen sind **Tafel 4** zu entnehmen.

Die Zementestriche erfüllen die Anforderungen nach [13]. Das Durchbiegungsverhalten der untersuchten Estriche unterscheidet sich nicht.

Die Biegezugfestigkeit der Zementestriche der Probeplatten wurde nach [13] im Alter von 28 Tagen geprüft. Die Ergebnisse sind in **Tafel 5** dargestellt. Beide Zementestriche erfüllen die Anforderung an die Biegezugfestigkeit in der Bestätigungsprüfung eines Zementestrichs der Festigkeitsklasse CT-F5.

Tafel 4: Durchbiegung der Zementestriche nach [13]

Eigenschaft		Zementestrich mit	
		CEM I 32,5 R	CEM II/B-S 32,5 R
Estrichdicke	mm	46	49
Durchbiegung bei 400 N	mm	0,14	0,13

### 2.5.4 Oberflächenfestigkeit

Die Oberflächenzugfestigkeit wurde – nach Entfernung der schlämmeartigen Partikel – gemäß [11] an den Probepplatten geprüft. Die Ergebnisse enthält **Tafel 6**. Die gemessenen Oberflächenzugfestigkeiten beider Zementestriche lagen im üblichen Bereich für die vorhandene Festigkeitsklasse. Die qualitative Bewertung der Oberflächenfestigkeit mit der Gitterritzprüfung unterschied sich nur unwesentlich.

### 2.6 Austrocknungsverhalten

Zur Bestimmung des Austrocknungsverlaufs wurden Probepplatten mit 30 cm Kantenlänge und einem Aufbau wie unter Abschnitt 2.5.3 beschrieben verwendet. Die Probepplatten lagerten nach der Herstellung ohne Abdeckung bis zum Alter von 56 Tagen im Normklima nach DIN 50 014-20/65-2. Der Feuchtegehalt der Zementestriche wurde an mehreren Prüfterminen durch Darren (105 +/- 3) °C sowie nach der CM-Methode gemäß [14] bestimmt. Das Prüfgut wurde dabei aus dem gesamten Estrichquerschnitt entnommen. **Bild 4** enthält die Messergebnisse, die im Rahmen der Messgenauigkeiten der Verfahren für die Estriche mit

Tafel 5: Biegezugfestigkeit der Zementestriche (Bestätigungsprüfung) nach [13]

Eigenschaft		Zementestrich mit	
		CEM I 32,5 R	CEM II/B-S 32,5 R
Estrichdicke	mm	45	48
Biegezugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	3,6	4,1

Tafel 6: Oberflächenzugfestigkeit der untersuchten Zementestriche nach [11]

Eigenschaft		Zementestrich mit	
		CEM I 32,5 R	CEM II/B-S 32,5 R
Oberflächenzugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	0,71	0,77
Bruchfläche bis zu einer Tiefe von	mm	3–5	3–6

CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R einen übereinstimmenden Trocknungsverlauf ausweisen.

### 2.7 Gesamtbewertung der vergleichenden Estrichprüfungen ohne Zusatzmittel

Die Zemente entstammen der gleichen Rohstoff- und Klinkerbasis eines Zementherstellers und unterscheiden sich nach Angabe des Herstellers stofflich im Wesentlichen nur durch die Zugabe von ca. 25 % Hüttensandmehl (gemahlene granuliert Hochofenschlacke) beim CEM II/B-S 32,5 R. Bei den durchge-

führten Estrichuntersuchungen an Estrichen aus CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R ohne Zusatzmittel wurden keine wesentlichen Unterschiede festgestellt.

Für die Zementestriche mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R wurden die normativen Parameter eines CT-C35-F5 gleichermaßen sicher erfüllt. Die verwendeten CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R sind bezüglich Verarbeitbarkeit und mechanischer Eigenschaften als gleichwertig für die Estrichproduktion anzusehen (Estrichherstellung ohne Zusatzmittel).

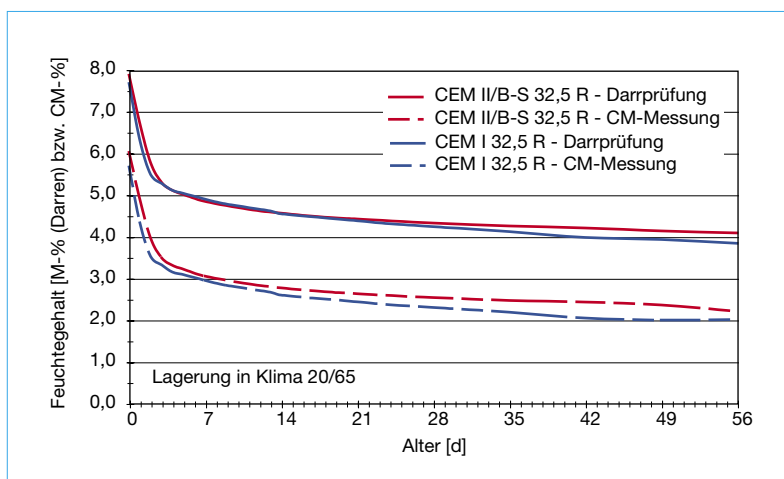


Bild 4: Austrocknungsverlauf der Zementestriche nach Darr- und CM-Prüfung

## 3 Vergleichende Estrichuntersuchungen mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R mit Zusatzmittel

### 3.1 Untersuchungsprogramm

Entsprechend den Untersuchungen unter Abschnitt 2 wurden an der Materialforschungs- und Prüfanstalt (MFPA) der Bauhaus-Universität Weimar vergleichende Estrichuntersuchungen unter Verwendung eines CEM I 32,5 R und eines CEM II/B-S 32,5 R und Einsatz von handelsüblichen Estrichzusatzmitteln zur Plasti-

Tafel 7: Zusammensetzung der untersuchten Estrichmörtel mit Zusatzmittel

		Estrichmörtel mit							
		CEM I 32,5 R				CEM II/B-S 32,5 R			
Nummer der Zusammensetzung		1	2	3	4	5	6	7	8
Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung	Masseanteile	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 4	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 4
Gesteinskörnung 0/4 mm 4/8 mm	M.-%	60	60	60	50	60	60	60	50
	M.-%	40	40	40	50	40	40	40	50
Zusatzmittel Art Gehalt	M.-% v.z	-	P 0,3	EB 3	EV 10	-	P 0,3	EB 3	EV 10
w/z-Wert		0,47	0,42	0,42	0,30	0,47	0,42	0,42	0,30

fizierung (P), Erhärtungsbeschleunigung (EB) und Estrichvergütung (EV) durchgeführt [14]. Die Untersuchungen umfassten folgende Parameter:

- Frischmörteleigenschaften [2]
- Festmörteleigenschaften (Druck- und Biegezugfestigkeit, Oberflächenzugfestigkeit, Durchbiegung) [3]
- Verformungsverhalten (Schwinden, Schüsseln) [4, 5]
- Austrocknungsverhalten [6]

Es wurden Gesteinskörnungen von 0 mm bis 8 mm verwendet, deren Kornfraktionen 0/4 und 4/8 im Verhältnis 60/40 bzw. 50/50 zusammengesetzt wurden. Die Sieblinien lagen nahe der Regelsieblinie A8 nach DIN 1045-2. Das Mischungsverhältnis Zement/Gesteinskörnung betrug 1/6 bzw. 1/4 in Gewichtsanteilen. Die Zusatzmitteldosierung erfolgte entsprechend der Herstellerempfehlung. Das Zusatzmittel wurde der Mischung zusammen mit dem Anmachwasser

zugegeben. Neben den zusatzmittelhaltigen Zusammensetzungen wurde für beide Zementarten eine Referenzzusammensetzung ohne Zusatzmittel geprüft. **Tafel 7** enthält die Zusammensetzung der untersuchten Estriche.

Die Lagerung der Prüfkörper zur Bestimmung der Festmörteleigenschaften erfolgte gemäß [8]. Abweichend davon wurden die Proben der Zusammensetzungen 3 und 7 mit

Tafel 8: Frischmörteleigenschaften der untersuchten Estriche

		Estrichmörtel mit							
		CEM I 32,5 R				CEM II/B-S 32,5 R			
Nummer der Zusammensetzung		1	2	3	4	5	6	7	8
Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung	Masseanteile	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 4	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 4
Gesteinskörnung 0/4 mm 4/8 mm	M.-%	60	60	60	50	60	60	60	50
	M.-%	40	40	40	50	40	40	40	50
Zusatzmittel Art Gehalt	M.-% v.z	-	P 0,3	EB 3	EV 10	-	P 0,3	EB 3	EV 10
w/z-Wert		0,47	0,42	0,42	0,30	0,47	0,42	0,42	0,30
Ausbreitmaß	mm	120	120	115	140	122	120	117	143
Frischmörtelrohddichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,34	2,27	2,34	2,37	2,32	2,24	2,34	2,38
Luftgehalt	%	3,4	9,0	2,3	3,3	4,6	8,0	2,0	3,3

Tafel 9: Festmörtelkennwerte der untersuchten Estriche

		Estrichmörtel mit							
		CEM I 32,5 R				CEM II/B-S 32,5 R			
Nummer der Zusammensetzung		1	2	3	4	5	6	7	8
Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung	Masseanteile	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 4	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 4
Zusatzmittel Art			P	EB	EV		P	EB	EV
Zusatzmittel Gehalt	M.-% v.z	-	0,3	3	10	-	0,3	3	10
Prüfalter 7 d									
Biegezugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	4,3	5,7	5,6	7,4	4,5	6,3	6,0	7,9
Druckfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	29,1	39,8	46,4	53,4	31,1	35,2	39,9	54,8
Prüfalter 28 d									
Biegezugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	5,3	7,3	7,0	8,8	6,2	6,9	5,9	9,3
Druckfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	40,7	47,8	45,3	72,0	37,7	46,1	42,3	73,5
Prüfalter 56 d									
Biegezugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	7,7	7,1	6,7	9,2	7,5	7,6	6,5	9,4
Druckfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	56,9	47,0	44,2	74,6	56,4	45,2	44,2	73,0
Durchbiegung	mm	0,24	0,19	0,26	0,20	0,22	0,21	0,25	0,23
Bestätigungsprüfung Biegezugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	4,3	4,2	5,3	7,2	4,8	4,7	4,7	6,8
Oberflächenzugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	1,9	2,1	2,4	4,9	2,9	2,5	1,6	4,2

dem Zusatzmittel EB durchgängig im Klima 20 °C / 65 % r.F. gelagert.

### 3.3 Frischmörteleigenschaften

Die Untersuchungen der Frischmörteleigenschaften [2], die in Tafel 8

zusammengefasst sind, verdeutlichen, dass die Zementart CEM I 32,5 R oder CEM II/B-S 32,5 R keinen Einfluss auf die Frischmörteleigenschaften hat. Durch die Verwendung unterschiedlicher Zusatzmittel kann eine plastifizierende Wirkung bzw.

Reduzierung des Wassergehalts erreicht werden. Abhängig von der Zusatzmittelart werden bei beiden Zementen gleichartig die Luftporenkennwerte und damit die Frischmörtelrohlichten beeinflusst.

### 3.4 Festmörteleigenschaften

Tafel 9 enthält die Festmörtelkennwerte [3] der untersuchten Estrichmörtel für eine Erhärtungszeit von 28 Tagen sowie zusätzlich die Daten für Biegezug- und Druckfestigkeit für 7 Tage und 56 Tage.

Wie bereits in Abschnitt 2.7 diskutiert, stellt sich auch hier bei den Festmörtelkennwerten der zusatzmittelfreien Mörtel (Referenzzusammensetzungen), die anhand der Biegezugfestigkeiten (Biegezugfestigkeit, Bestätigungsprüfung Biegezugfestigkeit, Durchbiegung, Oberflächenzugfestigkeit) bewertet wurden, eine Gleichwertigkeit des

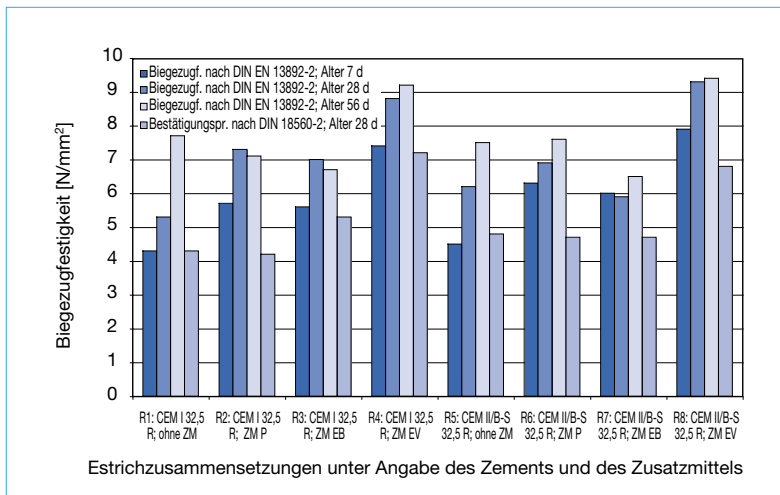


Bild 5: Vergleich spezifischer Festmörtelkennwerte der Referenzzusammensetzungen ohne Zusatzmittel

Estrichs mit CEM II/B-S 32,5 R gegenüber CEM I 32,5 R dar. **Bild 5** enthält den direkten Vergleich dieser Parameter.

Bei der Wirkung der Zusatzmittel auf die Festmörteleigenschaften der Estriche mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R gibt es keine systematischen Unterschiede.

### 3.5 Verformungsverhalten

#### 3.5.1 Längenänderung in Anlehnung an DIN EN 13454-2

Wie **Tafel 10** zeigt, wurde an den zusatzmittelfreien Estrichmörteln hinsichtlich des Verformungsverhaltens [4] kein signifikanter Unterschied in der Längenänderung zwischen den Zementen CEM I 32,5 R

und CEM II/B-S 32,5 R festgestellt. An den Estrichmörteln mit Zusatzmitteln ist das Längenänderungsverhalten der Estriche mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R bei Berücksichtigung der messverfahrensbedingten Streuung der Daten ebenfalls identisch. Die Prüfung erfolgte an 4 cm x 4 cm x 16 cm großen Prismen.

Tafel 10: Längenänderung in Anlehnung an DIN EN 13454-2 [4]

		Estrichmörtel mit							
		CEM I 32,5 R				CEM II/B-S 32,5 R			
Nummer der Zusammensetzung		1	2	3	4	5	6	7	8
Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung : Wasser	Masseanteile	1 : 6 : 0,47	1 : 6 : 0,42	1 : 6 : 0,42	1 : 4 : 0,30	1 : 6 : 0,47	1 : 6 : 0,42	1 : 6 : 0,42	1 : 4 : 0,30
Zusatzmittel Art		-	P	EB	EV	-	P	EB	EV
Zusatzmittel Gehalt	M.-% v.z	-	0,3	3	10	-	0,3	3	10
Mittelwert der Längenänderung nach									
3 Tagen	mm/m	-0,03	-0,01	-0,21	0,05	0,00	0,03	-0,15	0,05
7 Tagen	mm/m	-0,03	0,00	-0,29	0,08	0,02	0,03	-0,21	0,07
28 Tagen	mm/m	-0,33	-0,30	-0,41	-0,25	-0,30	-0,26	-0,35	-0,28
56 Tagen	mm/m	-0,39	-0,38	-0,45	-0,36	-0,36	-0,33	-0,42	-0,38

Tafel 11: Längenänderung nach MFPA-Verfahren Frühschwinden

		Estrichmörtel mit							
		CEM I 32,5 R				CEM II/B-S 32,5 R			
Nummer der Zusammensetzung		1	2	3	4	5	6	7	8
Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung	Masseanteile	1 : 6 : 0,47	1 : 6 : 0,42	1 : 6 : 0,42	1 : 4 : 0,30	1 : 6 : 0,47	1 : 6 : 0,42	1 : 6 : 0,42	1 : 4 : 0,30
Zusatzmittel Art		-	P	EB	EV	-	P	EB	EV
Zusatzmittel Gehalt	M.-% v.z	-	0,3	3	10	-	0,3	3	10
Mittelwert der Längenänderung – Verfahren: Frühschwinden – nach									
1 Tag	mm/m	0,03	0,02	0,03	0,05	0,00	0,01	0,02	0,01
2 Tagen	mm/m	0,03	0,02	0,03	0,05	0,00	0,03	0,01	0,01
3 Tagen	mm/m	0,03	0,02	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01

Vertikale Verformung einer schwimmend verlegten Estrichplatte (100 cm x 100 cm x 4 cm) nach Zusammensetzung 1

Prüftermin: 28 Tage nach der Herstellung; Lagerung: 7 Tage mit Folie abgedeckt, dann bei 20 °C und 65 % r.F.; Angabe der Änderung der Höhen in mm

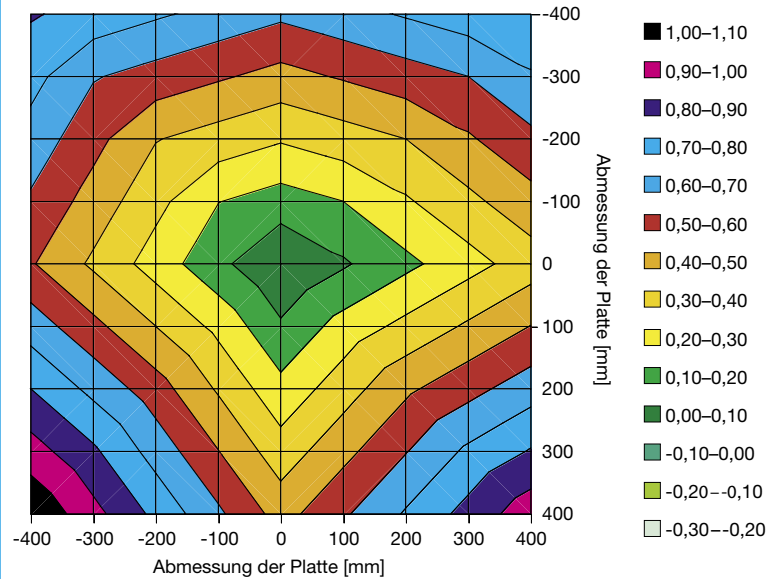


Bild 6: Vertikale Verformung am Estrichmörtel der Referenzzusammensetzung – ohne Zusatzmittel hergestellt mit CEM I 32,5 R – nach 28 Tagen

Vertikale Verformung einer schwimmend verlegten Estrichplatte (100 cm x 100 cm x 4 cm) nach Zusammensetzung 5

Prüftermin: 28 Tage nach der Herstellung; Lagerung: 7 Tage mit Folie abgedeckt, dann bei 20 °C und 65 % r.F.; Angabe der Änderung der Höhen in mm

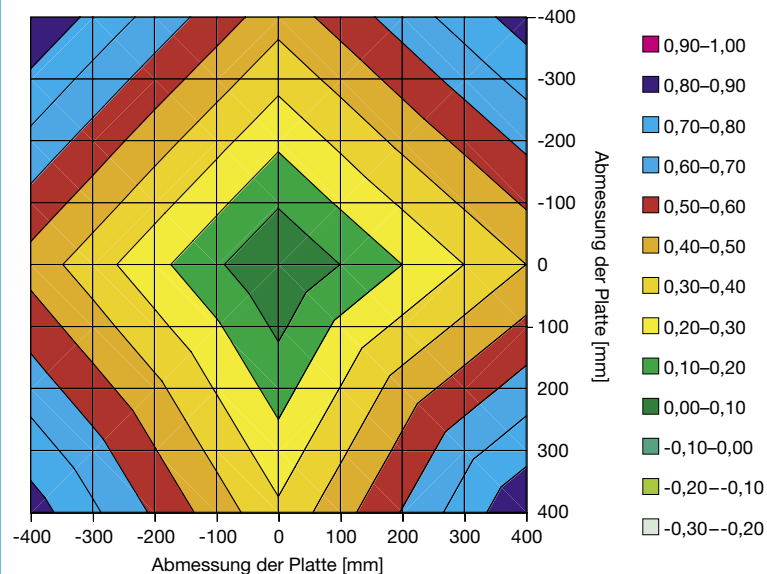


Bild 7: Vertikale Verformung am Estrichmörtel der Referenzzusammensetzung – ohne Zusatzmittel hergestellt mit CEM II/B-S 32,5 R – nach 28 Tagen

### 3.5.2 Längenänderung nach MFPA-Verfahren Früh-schwinden

Die Prüfeinrichtung besteht aus einer Schwindrinne 4 cm x 4 cm x 50 cm, mit der längsaxiale Schwind- und Quellvorgänge gemessen werden können. Die Untersuchungen [4] wurden im Normklima 20/65 durchgeführt. Die Ergebnisse in **Tafel 11** zeigen für alle Zusammensetzungen eine leichte Ausdehnung. Ein praxisrelevanter Unterschied im Längenänderungsverhalten abhängig von der Zementart ist nicht zu erkennen.

### 3.5.3 Vertikale Verformung

Die Untersuchung der vertikalen Verformung [5] erfolgte an Platten mit den Abmessungen 100 cm x 100 cm x 4 cm. Die Platten wurden 7 Tage bei 20 °C mit einer PE-Folie luftdicht abgeschlossen und anschließend bei 20 °C und 65 % r.F. gelagert. Mit Hilfe von neun auf der Plattenoberfläche verteilten Messmarken wurde die Verformung mit elektronischen Messuhren erfasst. Die Ergebnisse werden in Form von Höhenliniendiagrammen visualisiert.

In **Bild 6** ist das Höhenliniendiagramm für die zusatzmittelfreien Estrichrezepturen mit CEM I 32,5 R dargestellt, **Bild 7** zeigt das entsprechende Diagramm für den CEM II/B-S 32,5 R. Die Aufwölbung der Randbereiche mit bis zu 0,4 mm und der Eckbereiche mit bis zu 0,8 mm ist in beiden Estrichen vergleichbar. Ein zementbedingter Unterschied besteht nicht.

Bei den zusatzmittelhaltigen Zusammensetzungen ergab sich ein analoges Bild. Es wurde kein Einfluss der Zementart auf das Verformungsverhalten festgestellt. Der zeitliche Verlauf der Verformung ist insbesondere in der Anfangsphase signifikant abhängig von den Lagerungsbedin-



Tafel 12: Trocknungsfeuchte der Estriche nach CM-Verfahren und Trockenschrankverfahren

		Estrichmörtel mit							
		CEM I 32,5 R				CEM II/B-S 32,5 R			
Nummer der Zusammensetzung		1	2	3	4	5	6	7	8
Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung : Wasser	Masseanteile	1 : 6 : 0,47	1 : 6 : 0,42	1 : 6 : 0,42	1 : 4 : 0,30	1 : 6 : 0,47	1 : 6 : 0,42	1 : 6 : 0,42	1 : 4 : 0,30
Zusatzmittel Art		-	P	EB	EV	-	P	EB	EV
Gehalt	M.-% v.z	-	0,3	3	10	-	0,3	3	10
Prüfalter 7 Tage	CM-Feuchte	3,5	3,3	2,4	2,7	3,6	3,3	2,4	3,4
	Trocknungsfeuchte	4,4	3,9	3,0	4,0	4,5	3,9	3,1	4,4
Prüfalter 28 Tage	CM-Feuchte	2,2	2,1	1,8	2,1	2,6	2,6	1,9	2,4
	Trocknungsfeuchte	3,6	3,3	2,8	3,7	3,8	3,3	2,7	3,7
Prüfalter 56 Tage	CM-Feuchte	2,1	1,7	1,7	1,8	2,4	2,0	1,7	2,2
	Trocknungsfeuchte	3,2	3,0	2,5	3,6	3,6	3,1	2,6	3,7

gungen. Der Wert der Verformung war nach 28 Tagen bei allen Proben ähnlich.

### 3.6 Austrocknungsverhalten

Das Austrocknungsverhalten der Estriche [6] wurde an Probeplatten mit der Größe 15 cm x 15 cm x 4 cm, die gemäß [8] hergestellt und gelagert worden waren, bestimmt. Die Feuchtebestimmung erfolgte nach dem Trockenschrankverfahren (105 °C) und mit Hilfe der CM-Methode. **Tafel 12** enthält die Ergebnisse.

Bei den zusatzmittelfreien Referenzzusammensetzungen 1 und 5 sind die Feuchtwerte für die beiden Zemente nach beiden Messverfahren nach 7 Tagen praktisch gleich. Nach 56 Tagen liegen die Feuchtwerte für den CEM II/B-S 32,5 R tendenziell über denen des Zements CEM I 32,5 R, wobei der Unterschied im Bereich des Messfehlers der Verfahren liegt (+/- 0,2 CM-%). Bei den zusatzmittelhaltigen Zusammensetzungen

ergibt sich keine eindeutige Tendenz hinsichtlich des Austrocknungsverhaltens der beiden Zementestriche. Während bei der Darr-Methode im Mittel der Restfeuchtegehalt bei beiden Zementen gleich ist, liegt bei der CM-Methode der rechnerische Mittelwert der Restfeuchte für die CEM II/B-S-Estriche (alle Zusammensetzungen und Prüfzeitpunkte) um 0,2 % höher als bei den CEM I-Estrichen. Der Unterschied liegt damit im Bereich der Genauigkeit des CM-Verfahrens.

### 3.7 Gesamtbewertung der vergleichenden Estrichprüfungen mit Zusatzmittel

In Ergänzung zu dem Prüfprogramm ohne Zusatzmittel [10] wurde ein erweitertes Programm unter Einbeziehung handelsüblicher Estrichzusatzmittel durchgeführt (Plastifizierer P, Estrichbeschleuniger EB, Estrichvergütung EV). Den Untersuchungen an zusatzmittelhaltigen Estrichmörteln wurden Untersuchungen an zusatzmittelfreien Estrichmörteln (Refe-

renzzusammensetzungen) mit beiden Zementen CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R vorangestellt. Die Ergebnisse an den zusatzmittelfreien Estrichmörteln zeigten ein ähnliches Bild wie in [10].

Bei den untersuchten Parametern besteht unabhängig von den hier verwendeten Zementarten Gleichwertigkeit. Die verwendeten Zusatzmittel P (Plastifizierer), EB (Estrichbeschleuniger) und EV (Estrichvergütung mit Kunststoffdispersion) beeinflussen die Frischmörtelkennwerte und den Erhärtungsverlauf der Estriche deutlich.

Ein Unterschied in der Wirkung der eingesetzten Zusatzmittel auf die Estricheigenschaften in Abhängigkeit vom verwendeten Zement war nicht zu erkennen. Die Zusatzmittel wirken auf den CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R in gleicher Art und Weise.

Zusammenfassend kann für die an Estrichen durchgeführten Laborver-



Foto: Asclepiion Laser Technologies, Jena

Bild 8: Außenansicht des Verwaltungsgebäudes in Jena

suche festgestellt werden, dass auch bei Einbeziehung der dargestellten handelsüblichen Estrichzusatzmittel die Gleichwertigkeit für die hier verwendeten CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R nachgewiesen wurde.

## 4 Praxisvergleich CEM I 32,5 R zu CEM II/B-S 32,5 R

### 4.1 Ausgangssituation

Im Rahmen der Bewertung der Vergleichbarkeit von CEM I- zu CEM II-Zementen im Estrichbau wurden neben den umfangreichen Laborversuchen auch Praxisversuche unter Baustellenbedingungen an einem repräsentativen Objekt durchgeführt.

Einer der weltweit führenden Spezialisten der medizinischen Lasertechnologie errichtete zur Kapazitätserweiterung ein neues Verwaltungsgebäude mit Produktionshalle in Jena.

Das Projekt startete im Jahr 2006 mit Entwurf und Planung. Anfang März 2008 war das Gebäude bezugsfertig (Bild 8). Das Estrich-Verlegeunternehmen konnte den Planer und Bauherrn auf der Grundlage der oben aufgeführten umfangreichen Vergleichsversuche überzeugen, die Estricharbeiten parallel mit einem CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R durchzuführen. Die Gesteinskörnung 0/8 wurde als Korngemisch aus einer nahe liegenden Kiesgrube bereitgestellt. Den Plastifizierer der

als Zusatzmittel zur Wasserreduzierung und Verarbeitungsverbesserung eingesetzt wurde, lieferte ein Zusatzmittelhersteller aus dem südlichen Baden-Württemberg. Zudem wurden vom Zusatzmittelhersteller die Estricharbeiten anwendungstechnisch betreut. Die beiden Zemente kamen von einem Thüringer Zementproduzenten, bei dem sichergestellt war, dass beide Zemente dieselbe Klinkerbasis besitzen und sich einzig durch die Komponente Hüttensandmehl unterscheiden.

Für das Verwaltungsgebäude wurde ein üblicher schwimmender Estrich nach DIN 18560 als CT-C25-F4 in einer Dicke von 55 mm ausgeschrieben ohne Anforderungen an eine frühe Belegreife. Der Estrichmörtel war nach der unten aufgeführten Zusammensetzung für eine erdfeuchte Konsistenz zusammengestellt und wurde nach Zugabe aller Komponenten in den Estrichmischer noch ca. eine Minute gemischt und anschließend über Druckluft zur Einbaustelle gepumpt.

### 4.2 Zusammensetzung des Estrichs

Die Zusammensetzung des Estrichs kann Tafel 13 entnommen werden.

Tafel 13: Gewählte Estrichrichtzusammensetzung für die Verwendung von CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R im Praxisvergleich

Mischungsgröße	I	200
Estrichsand 0/8 mm (Feuchte ca. 3,5 %)	kg	310,0 (inkl. 10,5 kg Eigenfeuchte)
Zement (CEM I 32,5 R bzw. CEM II/B-S 32,5 R)	kg	50,0 (2 x 25)
Plastifizierer (0,2 % v.z)	kg	0,1
Wasserzugabe	kg	12,0
Mischungsverhältnis Zement: Gesteinskörnung		1 : 6
w/z-Wert		0,45

Tafel 14: Daten der untersuchten Estriche im Praxisvergleich

Zement		CEM I 32,5 R	CEM II/B-S 32,5 R
Rohdichte (28 d)	kg/dm <sup>3</sup>	2,01	1,99
Biegezugfestigkeit (28 d)	N/mm <sup>2</sup>	4,7	4,9
Druckfestigkeit (28 d)	N/mm <sup>2</sup>	28,0	28,1
Oberflächenzugfestigkeit (14 d)	N/mm <sup>2</sup>	2,7	2,8

### 4.3 Ausführung und Prüfungen

Die Estricharbeiten wurden von dem Estrichfachunternehmen mit einer Drei-Mann-Kolonnen in der Zeit vom 1. bis zum 23. November 2007 durchgeführt. Als Maschine wurde eine übliche Standard-Estrichpumpe (Druckluftförderer) eingesetzt, bei der der Nutzinhalt bei einer guten Mischwirkung ca. 200 l betrug. Die Arbeiten wurden bei niedrigen Temperaturen (außen 2 °C und innen 11 °C) durchgeführt.

Der Wasserbedarf in der Praxis mit einem w/z-Wert von 0,45 bestätigte die Daten und Ergebnisse aus den Laborversuchen. Der Estrich hatte

sowohl beim CEM I 32,5 R als auch beim CEM II/B-S 32,5 R gute Verarbeitungseigenschaften. Das Pumpen, Fördern und Abziehen wurde bei beiden Estrichen vom Estrichleger als vergleichbar gut eingestuft. Auf der Baustelle wurden Estrichprismen angefertigt und im hauseigenen Labor des Zusatzmittelherstellers geprüft (Tafel 14). Weiterhin wurden vor Ort Oberflächenzugfestigkeit und CM-Feuchte bestimmt.

Beide Estriche erfüllten die Anforderung an den ausgeschriebenen CT-C25-F4. Bei den Praxisprüfungen der CM-Feuchte ergab sich ein Unterschied, der beim CEM II/B-S 32,5 R auf die tiefere Probenahmestelle zu-

rückzuführen ist. Das Probenmaterial war beim Estrich mit CEM II/B-S 32,5 R gegenüber dem CEM I 32,5 R im Mittel über eine 5 mm und 10 mm höhere Messtiefe entnommen worden.

Die Belagsarbeiten für die Fliesenarbeiten starteten am 28. Januar 2008 und für den Textilbelag am 8. Februar 2008. Anfang März konnte der Bauherr planmäßig mit den Umzugsarbeiten an den neuen Standort innerhalb von Jena beginnen und war nach einer Woche Produktionsstillstand in der Lage, den Betrieb wieder aufzunehmen. Am 1. April wurde der neue Standort mit Verwaltung und Produktion offiziell eröffnet (Bild 9).

### 4.4 Bewertung des vergleichenden Praxiseinsatzes von CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R zur Estrichherstellung

Wie im Laborprüfprogramm wurden auch in der Praxis ein CEM I 32,5 R und ein CEM II/B-S 32,5 R mit Plas-



Foto: Asclepion Laser Technologies, Jena

Bild 9: Innenaufnahme des Verwaltungsgebäudes

tifizierer verwendet. Die Wassereinstellung (w/z-Wert) auf der Baustelle war nahezu identisch mit der Einstellung im Labor. Das verwendete Zusatzmittel wirkte auf die Estriche – hergestellt mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R – gleichermaßen. Die Ergebnisse der unter Praxisverhältnissen durchgeführten Untersuchungen der Druck-, Biegezug- und Haftzugfestigkeit sowie der CM-Feuchte belegen sowohl die praktische Gleichwertigkeit der beiden Zemente als auch die gute Anbindung an die vorangegangenen Laborergebnisse.

Zusammenfassend kann auch hier festgestellt werden, dass in der Praxis der Nachweis für die Gleichwertigkeit der hier untersuchten Estrichzemente CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R gezeigt wurde.

## 5 Resümee

Nachdem in der Vergangenheit Zementestrich überwiegend mit CEM I-Zementen hergestellt wurden, haben sich seit mehreren Jahren auch zunehmend CEM II-Zemente etabliert. Aufgrund ökologischer und politischer Forderungen zur Ressourceneinsparung ist die Zementindustrie in die Pflicht genommen, ihre Produktion auf CO<sub>2</sub>-Einsparungen auszurichten. Hieraus ergab sich für das Einsatzgebiet Estrich die Notwendigkeit, labortechnische und praktische Nachweise zu erbringen, die die Eignung von CEM II-Zementen belegen.

Unabhängig von den hier vorliegenden Untersuchungsergebnissen ist der Estrichleger als Mörtelhersteller grundsätzlich verpflichtet, die Eignung der von ihm verwendeten Ausgangsstoffe (Zement, Gesteinskörnung, Zusatzstoff, Zusatzmittel) für die Herstellung seines Estrichs

über eine Eignungsprüfung nachzuweisen. Die oben aufgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass alle für den Estrich relevanten physikalischen Kennwerte bei der Verwendung eines mit CEM II/B-S 32,5 R hergestellten Estrichs erfüllt wurden. Auch die Verwendung ausgesuchter Zusatzmittel zur Modifizierung von Estrichmörteln konnte für den CEM II/B-S 32,5 R im Estrich sowohl im Labor als auch auf der Baustelle bestätigt werden.

## 6 Literatur

- [1] Prüfbericht des IBF Troisdorf Nr. M307/05 vom 05.05.2006: Vergleichsprüfung zwischen Zementestrichen hergestellt mit CEM I 32,5 R und CEM II/B-S 32,5 R
- [2] Prüfbericht der MFPA Weimar Nr. B 12.07.017.01: Bestimmung von Kennwerten an Zementestrichen unter Verwendung unterschiedlicher Zementarten und Estrichzusatzmittel – Teil 1: Prüfung der Frischmörteleigenschaften (2007)
- [3] Prüfbericht der MFPA Weimar Nr. B 12.07.017.02: Bestimmung von Kennwerten an Zementestrichen unter Verwendung unterschiedlicher Zementarten und Estrichzusatzmittel – Teil 2: Prüfung der Festmörtelkennwerte (2007)
- [4] Prüfbericht der MFPA Weimar Nr. B 12.07.017.03: Bestimmung von Kennwerten an Zementestrichen unter Verwendung unterschiedlicher Zementarten und Estrichzusatzmittel – Teil 3: Längenänderung (2007)
- [5] Prüfbericht der MFPA Weimar Nr. B 12.07.017.05: Bestimmung von Kennwerten an Zementestrichen unter Verwendung unterschiedlicher Zementarten und Estrichzusatzmittel – Teil 5: Untersuchung der Längenänderung und der Verformung an schwimmend verlegten Estrichplatten (2007)
- [6] Prüfbericht der MFPA Weimar Nr. B 12.07.017.04: Bestimmung von Kennwerten an Zementestrichen unter Verwendung unterschiedlicher Zementarten und Estrichzusatzmittel – Teil 4: Austrocknungsverhalten (2008)
- [7] DIN 18555-2:1982-09 – Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln – Teil 2: Frischmörtel mit dichten Zuschlägen, Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehaltes
- [8] DIN EN 13892-2:2003-02 – Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen – Teil 2: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit
- [9] DIN EN 13892-1:2003-02 Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen – Teil 1: Probenahme, Herstellung und Lagerung der Prüfkörper
- [10] DIN 1048-5:1991-06 Prüfverfahren für Beton; Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper
- [11] DIN EN 13892-8:2003-02 – Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen – Teil 8: Bestimmung der Haftzugfestigkeit
- [12] DIN 52450:1985-08 – Prüfung anorganischer nichtmetallischer Baustoffe; Bestimmung des Schwindens und Quellens an kleinen Probekörpern
- [13] DIN 18560-2:2004-04 – Estriche im Bauwesen; Teil 2: Estriche und Heizestrichen auf Dämmschichten (schwimmende Estriche)
- [14] Schnittstellenkoordination bei beheizten Fußbodenkonstruktionen – Arbeitsanweisung / Dokumentation FBH-AG / CM-Messung, Februar 2005

## Bauschild

Bauherr	Asclepion Laser Technologies GmbH, Jena
Planer	Schettler & Wittenberg Architekten, Weimar
Statik	Ingenieurbüro Dr. Krämer GmbH, Weimar
Prüfinstitute	IBF Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung, Troisdorf; MFPA Weimar Materialforschung- und Prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Weimar
Estrichverleger	Barbarossa Plan Estrichbau GmbH, Sondershausen
Zusatzmittel	Kurt Glass AG, Feldkirch
Zement	Dyckerhoff AG (Deuna Zement GmbH), Deuna