

## Zementestrich – Feldversuche

27

### DI (FH) Martin Erbinger

Heidelberger Zement

### Ing. Christian Gettinger

Technischer Konsulent Industrieboden GmbH, Zweigstelle Kramsach

### DI Dr. Franz Koubowetz

SPZ – Eiberg

### Ing. Reinhard Oberlohr

Schretter &amp; Cie

### Dr. Rudolf Röck

Schretter &amp; Cie

### 1. Einleitung

Vor der Einführung der Euronorm für Zemente am 1. April 2002 war in Österreich für Estriche der PZ275 (H) praktisch allein in Verwendung – in Bayern wie auch in weiten Teilen Deutschlands war es der PZ 35 F.

Das ging auch nach der Einführung der Eurozemente so lange weiter, als die CEM II/A-S 32,5 R-Zemente häufig durch CEM II/A-S 42,5 N-Zemente ersetzt wurden. Nach und nach kam es zur Einführung der CEM II/B-S 42,5 N-Zemente, die zuerst im Transportbeton Fuß fassten und im

Laufe der Zeit in die Welt des Estrichs vordrangen. Dies führte zu anhaltenden Diskussionen über deren Verwendbarkeit, insbesondere wurde unterstellt, dass die Verlegereife (2 % Feuchte) nicht in der erforderlichen Zeit erreicht werde. Von den Praktikern hörte man unterschiedliche Meinungen zu diesem Punkt. Um Klarheit in die meist auf Vermutungen gegründeten Standpunkte zu bringen, wurden bei der Fa. Fankhauser in Kramsach Feldversuche durchgeführt, deren Ergebnisse Inhalt dieses Artikels sind.

### 2. Rezeptur der Estrichmischungen

(siehe Tabelle 1)

Verarbeitet wurden insgesamt drei Zement-sorten: CEM II/A-S 32,5 R, CEM II/B-S 42,5 N, CEM II/A-M (S-L) 32,5 R sowie ein Zusatzmittel auf Polymerbasis bzw. ein konventioneller BV. Bei dem eingesetzten Sand 0/4 handelt es sich um eine handelsübliche, vor Ort erhältliche Sorte, wie sie laufend im Estrichbereich verbaut wird. Die bewusst magere, d. h. zementarme Rezeptur zeigt Abweichungen zwischen den einzelnen Bindemitteln deutlicher auf als hoch zementhaltige Mischungen mit niedrigem Wasser-Zementwert.

Tabelle 1: Rezepturen

Estrichrezepturen: Versuche Fankhauser in Kramsach, April 2006						
Standardrezeptur bei jeder Mische gleich						
Es ändern sich der Zement sowie der Anmachwasserbedarf.						
<b>Angaben in kg pro 200 Liter Estrichpumpe</b>						
330 kg Sand 0–4 mm inkl. Eigenfeuchte mit 4,5 % entspricht 14,2 Liter						
44 kg Zement						
Mischungs Nummer	verwendeter Zement	Wasserzugabe in Liter	Wassermenge gesamt in Liter	Zusatzmittel in Liter / Mische	W/B-Wert	Bemerkungen
1	CEM II B-S 42,5 N	16,9	31,1		0,71	
2	CEM II A-S 32,5 R	16,9	31,1		0,71	
3	CEM II B-S 42,5 N	13,2	27,4	0,5 Polymer	0,62	blutet beim Glätten
4	CEM II A-S 32,5 R	13,5	27,7	0,5 Polymer	0,63	blutet beim Glätten
5	CEM II B-S 42,5 N	16,9	31,1	0,35 BV	0,71	blutet beim Glätten
6	CEM II A-S 32,5 R	16,9	31,1	0,35 BV	0,71	
7	CEM II B-S 42,5 N	13,55	27,75	0,5 BV	0,63	etwas trocken Wiederholung von Nr. 5
8	CEM II A-S 32,5 R	16,9	31,1		0,71	
9	CEM II B-M (S-L) 32,5 R	16,9	31,1		0,71	bräuchte eine Spur weniger Wasser, blutet ein wenig
10	CEM II B-M (S-L) 32,5 R	10,7	24,9	0,5 Polymer	0,57	

### 3. Herstellung der Versuchsflächen und Prüfkörper

Sand und Zement wurden eingewogen; das Anmachwasser bis zum Erreichen der für Estriche erforderlichen Konsistenz (erdfeucht) zugegeben und durch Wiegung bzw. Rückwiegung erfasst. Die Mischzeit betrug 1,5 Minuten, die Förderweite im Schlauch war rund 20 m. Gefördert wurde in eine Laderschaufel, aus der Felder und Formen befüllt wurden. (Bild 1)

Herstellung und Einbau erfolgten mit baustellenüblichem Gerät, also Estrichmischpumpe (hier Fabrikat Brinkmann), Scheibenglätter etc. auf einer PE-Folie als Trennlage. (Bild 2)

Die angelegten Musterflächen in einer geschlossenen, zugfreien Halle waren jeweils 150 x 150 x 6 cm groß. Parallel dazu wurden spezielle Estrichkästen (60 x 60 x 6 cm) ge-

füllt. Die abschließende Oberflächenbearbeitung der Felder und Kästen erfolgte wie in der Praxis üblich mit einem Scheibenglätter (Bild 3). Eine Nachbehandlung unterblieb.

Zusätzlich zu den Flächen und Estrichkästen wurden Mörtelprismen (4 x 4 x 16 cm) hergestellt. Die Verdichtung der Prismen erfolgte mit dem Reibbrett. (Bild 4)

Die über die gesamte Versuchsdauer gemessene Temperatur bewegte sich zwischen 16 und 22 °C, die relative Luftfeuchte zwischen 55–80 %; Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden über die gesamte Versuchsdauer kontinuierlich mit einem Thermo-Hygrografen aufgezeichnet. Beim Einbau festgestellte Farbunterschiede zwischen den Mischungen blieben über die Versuchsdauer erhalten. In (Bild 5) sind die Flächen rund eine Woche alt.

### 4. Ergebnisse

#### 4.1 Druck- und Biegezugfestigkeiten

Die niedrige Anzahl an Einzelwerten lässt eine nur in begrenztem Umfang statistisch abgesicherte Aussage hinsichtlich einzelner Werte zu. Von größerem Interesse sind die erkennbar sich abzeichnenden, nachvollziehbaren Trends.

Praktisch alle Prismen, egal ob in Formen hergestellt oder aus den Estrichflächen geschnitten, wiesen augenscheinlich eine nach unten hin zunehmende Porosität auf. Mit der Änderung der Porosität bzw. Dichte geht eine Veränderung der mechanischen Kennwerte über den Querschnitt einher, was eine diesbezügliche Bewertung der reinen Messwerte erfordert.

Die ausgeschnittenen Prüfkörper entstammen der oberen Estrichschicht, d. h. sie wurden aus den oberen vier der insgesamt sechs Zentimeter dicken Baukörper gewonnen. (Diagramm 1 und Diagramm 2)

Augenfällig ist das deutlich höhere Festigkeitsniveau der aus den Estrichflächen geschnittenen Prüfkörper gegenüber den Werten der eingeschlagenen Prismen. In erster Linie resultiert dies aus der wesentlich besseren Verdichtung, die die oberen Schichten der Estrichflächen gegenüber dem Baustoff in den Formen erfuhren.

Bild 1



Bild 2



Bild 3



Bild 4



Bild 5

Fotos: © Christian Gettingter



Diagramm 1 (Druckfestigkeiten)

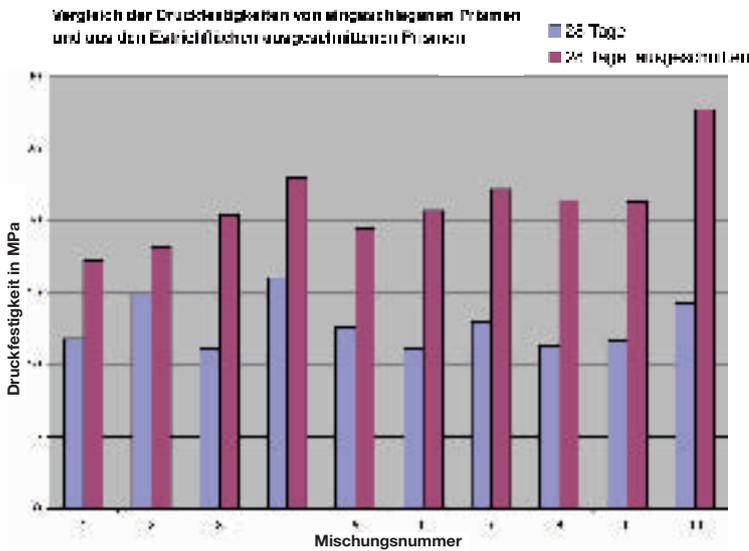
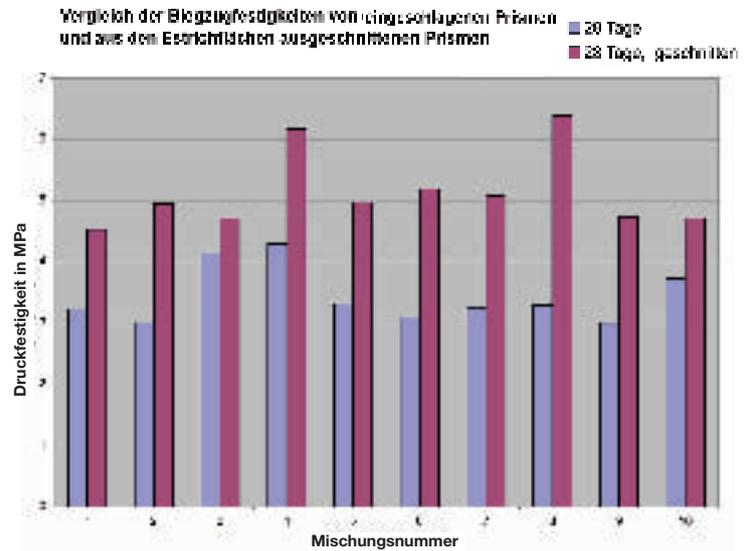


Diagramm 2 (Biegezugfestigkeiten)



Der Einfluss des w/b-Wertes ist tendenziell insofern erkennbar, als die Mischungen mit den niedrigeren w/b-Werten auch höhere Festigkeiten gegenüber Mischungen ansonsten gleicher Zusammensetzung aufweisen. Die Absenkung des zur Verarbeitungskonsistenz benötigten Wassergehaltes war aber immer mit dem Einsatz von Zusatzmitteln verbunden, die sich ebenfalls auf die Verarbeitbarkeit im Sinne der Verdichtbarkeit auswirkten. Somit überlagern sich hier beide Effekte und addieren sich hinsichtlich der Druckfestigkeit auf.

Angesichts der vergleichsweise niedrigen Druckfestigkeiten liegen die Biegezugwerte relativ hoch.

### 4.2 Feuchte

Dem Aspekt der Restfeuchte bzw. deren Bestimmung wurde besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Neben den mechanischen Kennwerten ist die sog. Belegreife, also die Rest- bzw. Ausgleichsfeuchte des zu belegenden Estrichs, von ausschlaggebender Bedeutung. Hier zeichneten sich interessante Trends ab. Darüber hinaus ergaben sich gerade in Bezug auf die gebräuchlichste Messmethode, das sog. CM-Verfahren, sehr interessante Erkenntnisse.

### 4.2.1 Allgemeines

In der Praxis wird zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes überwiegend das CM-Gerät verwendet. Dabei wird die verkleinerte Probe in eine druckdichte CM-Flasche gemeinsam mit den dazugehörigen Stahlkugeln und der Glasampulle mit dem Calciumcarbid eingebracht. Während der Prüfung reagiert das freie Wasser in der Probe mit dem Calciumcarbid unter Bildung von Acetylen.

Je mehr freies Wasser in der Probe vorhanden ist, umso mehr Acetylen entsteht und umso höher steigt der Druck im Behälter. Anhand des resultierenden Enddruckes und der Probeneinwaage kann man je nach Gerätehersteller direkt am Manometer oder über ein Gasdruckdiagramm die Feuchtigkeit ablesen.

Bei der Messung mittels CM-Gerät ist das Resultat die so genannte CM-%-Feuchte. Bei der Bestimmung nach der Darr-Methode spricht man von Feuchtigkeitsgehalten in Masse-%.

#### Mögliche Fehlerquellen bei der Durchführung einer CM-Messung:

Wie man aus Punkt 4.2.1 entnehmen kann, ist die Bestimmungsmethode nach CM ein chemischer Vorgang zwischen einem pulverförmigen Stoff (Calciumcarbid) und freiem

Wasser. Da alle chemischen Reaktionen sehr komplex verlaufen, ist eine Fehlermöglichkeit durchaus gegeben.

Der bei der Messung resultierende Fehler setzt sich in der Praxis aus mehreren Einzelfehlern zusammen. Für die CM-Messung stehen dem Fachmann mehrere Anweisungen (Gebrauchsanleitungen der CM-Hersteller – sowie verschiedene technische Regelwerke vor allem in Deutschland) zur Verfügung.

#### Wie unterschiedlich diese Anleitungen sind, zeigt die nachfolgende Übersicht:

##### Gerät A

- 2–5 Minuten kräftig schütteln
- 10 bis 20 Minuten Enddruck
- keine Temperaturunterschiede
- nach der Messung muss das Gerät noch 30 Minuten lang den Druck anzeigen

##### Gerät B

- Messung bei konstanter Temperatur
- Mindesttemperatur 5 °C
- durch Schütteln wird die Carbid-Ampulle zerstört, 1 Minute stehen lassen
- Zerkleinern der Probe 1–3 Minuten
- Ruhepause von ca. 2 Minuten
- Schütteln 1–2 Minuten
- Wartezeit 8–12 Min. Druck konstant

Wie man sieht, gibt es in Bezug auf die Messung doch sehr unterschiedliche Angaben.

Auch bei der Probennahme sowie Proben-  
vorbereitung sind Fehler möglich. So schreibt  
die entsprechende Norm vor, dass die Probe  
aus dem unteren Estrichdrittel zu entnehmen  
ist. Hier stellt sich die Frage der Möglichkeit,  
Material so gezielt entnehmen zu können –  
üblicherweise ist der Estrich mit Fäustel  
und Meißel aufzustemmen. Weiters hat die  
Vorzerkleinerung einen wesentlichen Ein-  
fluss auf die Messfunktionalität.

Die Wartezeit zwischen der Probennahme  
bzw. der Zerkleinerung bis zum Einfüllen in  
die CM-Flasche bzw. innerhalb der Messung  
selbst ist nicht standardisiert. Die entspre-  
chenden Herstellerangaben hinsichtlich  
der Zerkleinerung der Probe wie auch des  
Schüttelns sowie der Pausen zwischen den  
Schüttelintervallen variieren erheblich. Außer-  
dem ist zu bezweifeln, dass in der Praxis  
irgendjemand die CM-Flasche über einen  
Zeitraum von 2 bis 5 Minuten permanent  
schüttelt.

Auch die Einwaage der Probe ist auf man-  
cher Baustelle nicht leicht durchzuführen.

**4.2.2 Bestimmungen der Feuchtigkeiten  
im Feldversuch**

Aufgrund der o. a. Fehlermöglichkeiten  
wurden die Messungen der verschiedenen  
Estrichproben nach einem standardisierten,  
über Jahre hindurch angewandten und  
erprobten Verfahren durchgeführt.

- Probenentnahme und zerkleinern,  
wobei das Tragen von Neopren-Hand-  
schuhen angeraten wird
- Abwaage der Probe ±0,01 Gramm
- Einbringen von Stahlkugeln, Glas-  
ampulle und Probe in den Druckbe-  
hälter (Pulvertrichter und das Tragen  
von Handschuhen wird empfohlen)
- die Zeitspanne zwischen der  
Probennahme und dem Verschließen

der CM-Flasche sollte nicht mehr als 5  
Minuten betragen

- kräftiges Schütteln, eine Minute lang
- Ablesen des Manometerdruckes nach  
1 Minute, 3, 6, 9, 12 und 20 Minuten

Zwischen diesen Ableseintervallen wird  
jede Minute 10 Sekunden lang geschüttelt.  
Der Endwert ist jener nach 20 Minuten.

**4.2.3 Gegenüberstellung von  
CM-Feuchte und Darr-Feuchte-%**

Neben der CM-Messung erfolgte die  
Feuchtigkeitsbestimmung auch noch nach  
der so genannten Darrmethode. Dabei  
wird die frisch entnommene Probe bei  
105 °C bis zur Gewichtskonstanz ge-  
trocknet und der Masseverlust in Bezug  
zur Probemasse gesetzt. Bei der gewähl-  
ten Temperatur wird nicht nur das frei  
bewegliche Wasser und das Kapillar-  
wasser entfernt; sondern auch das

Mische Nr.	28 Tage; Entnahme aus dem unteren Estrichdrittel		
	CM-Feuchte	DARR bei 105 °C	plus %
1	3,63	3,8	4,7
2	3,24	3,79	17,0
3	2,86	3,83	33,9
4	2,86	3,74	30,8
5	3,43	4,24	23,6
6	2,48	3,48	40,3
7	2,29	3,36	46,7
8	2,29	3,09	34,9
9	2,48	3,76	51,6
10	2,67	2,77	3,7

**Beteiligte Firmen**  
(in alphab. Reihenfolge)  
HeidelbergCement AG, Verkaufsregion  
Süd, Baubergerstraße 30, D-80992  
München  
Industrieboden GmbH, Amerling 120,  
A-6233 Kramsach  
Mapei, Freilehnmühle 9, A-3133 Traismauer  
Schretter & Cie, A-6682 Vils/Tirol  
Sika Österreich GmbH, Dorfstraße 23,  
A-6700 Bludenz  
SPZ Zementwerk Eiberg GmbH & Co. KG,  
Eiberger Bundesstraße, A-6330 Kufstein

CM-Feuchten, DARR-Feuchtigkeiten und elektronische Bestimmung im Alter von drei Monaten							
Mische	unteres Estrich-Drittel			CM-Feuchte	Mitte	oberes Drittel	Mittelwert DARR-Probe Gesamt Schichtdicke
	DARR-Probe Mittelwert %	Hydromette Anzeige	Hydromette Umrechnung				
1	2,28	50	zwischen 1,5 und 2,1 CM-%	1,53	1,52	0,89	1,56
2	2,26	49		2,1	2,10	0,91	1,76
3	1,91	47		1,53	1,51	0,78	1,40
8	1,82	47		1,53	1,36	0,95	1,38
9	2,11	55		1,53	1,90	1,21	1,74
10	1,81	44		1,34	1,65	0,68	1,38

hygroskopisch gebundene und ein Teil des Kristallwassers mitbestimmt.

Bei den Vergleichen zwischen CM-Feuchtigkeiten und Darrproben sind keine Gesetzmäßigkeiten zu beobachten. Betrachtet man die Ergebnisse dieser Versuchsanordnung, ist eine in der Praxis immer wieder genannte Generalisierung in der Form „CM-Feuchte = Darr-Feuchte + 1,5 %“ nicht nachvollziehbar.

Das Diagramm stellt die bestimmten Feuchten in Abhängigkeit von der Messdauer des CM-Verfahrens sowie die mit dem Darren ermittelten Feuchten gegenüber.

Man erkennt deutlich, dass sich mit zunehmender Messdauer höhere Feuchten mit dem CM-Gerät ergeben. Das Darrverfahren liefert nochmals deutlich höhere Werte als das CM-Verfahren.

**CM-Feuchte, Darrprobe und elektrische Bestimmung nach 3 Monaten**

Die Tabelle zeigt die Resultate nach 3 Monaten, zusätzlich wurde über der Estrichhöhe gemessen.

**5. Zusammenfassung und Ausblick**

Grundsätzlich sind alle in diesem Feldversuch getesteten Zementsorten als geeignet anzusehen, Zementestrich herzustellen – auch der bislang kritisch betrachtete CEM II/B-S. Die Zementsorte – CEM II A-S, CEM B-S, 32,5 R oder 42,5 N-Zement – ist von geringerer Bedeutung als ursprünglich angenommen. Die wesentlichen Unterschiede in den Festigkeiten der Prüfkörper – eingestampfte wie auch ausgeschnittene Prismen – resultieren weniger aus den Güteunterschieden zwischen den einzelnen Sorten als vielmehr aus der unterschiedlichen Verdichtung resp. Verdichtbarkeit der frischen Mischung. Auf diese

Eigenschaft wirken auch die verwendeten Zusatzmittel wesentlich mit ein.

Vom Standpunkt der zügigen Erreichung der Belegreife ist ein homogener, gut verdichteter Estrich mit glatter, dichter Oberfläche nur m. E. erstrebenswert. Gerade dichte Estriche trocknen langsamer durch, dabei kommt es zu Feuchtigkeitsgradienten, was zu Aufschüsselungen und letztlich Rissen führen kann. Gute mechanische Kennwerte und schnelle Durchtrocknung können sich durchaus als gegenläufige Anforderungen erweisen.

Trotz – oder wegen – seiner scheinbar einfachen, baustellenfreundlichen Handhabung birgt das CM-Messverfahren viele Unwägbarkeiten. Eine echte Standardisierung dieses Verfahrens erscheint angezeigt. Alternative Messverfahren wie etwa das beschriebene Darren in einem Trockenschrank (oder analog zur Betontechnologie in einer Mikrowelle) erscheinen hier durchaus diskussionswürdig.



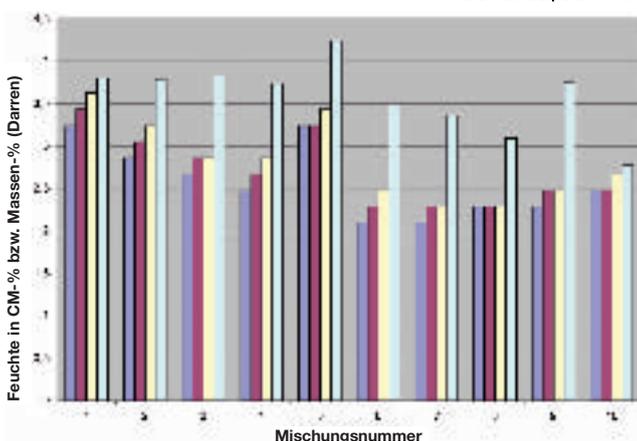
Die Manipulation der Probe, Kugeln und der Calcium-Ampulle erfolgt mit angezogenen Neopren-Handschuhen.

Die Vorzerkleinerung erfolgt am besten im entsprechend dicken PE-Beutel.  
Fotos: © Christian Gettinger

Diagramm 3 (Feuchtevergleich)

Vergleich der gemessenen Feuchten aus Estrichhöhe nach 28 d aus dem unteren Drittel

- CM-Feuchte 45 min Messdauer
- CM-Feuchte 12 min Messdauer
- CM-Feuchte 30 min Messdauer
- Darrprobe



Die Proben nach der Messung: falsch und richtig



Nicht korrekt zerkleinerte Probe



Richtig zerkleinerte Probe