



Untersuchungen zur Ausgleichsfeuchte unbeheizter Zementestriche

zusammengestellt von Herrn Dipl.-Ing. Egbert Müller

Der Bundesverband Estrich und Belag e.V., Troisdorf, beauftragte das Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung, Troisdorf, mit der Durchführung von Untersuchungen zur Ermittlung der Ausgleichsfeuchte von unbeheizten Zementestrichen. Die Untersuchungen wurden durch Mittel des BEB und weiterer finanzieller Unterstützung durch folgende Firmen durchgeführt:

- Firma Dr. Radtke CPM AG, Baar/Switzerland
- Firma Witte Metallwaren GmbH & Co. KG, Beckum
- Firma Trotec GmbH & Co. KG, Heinsberg
- Firma Rapid-Floor Estrichtechnologie GmbH, Recklinghausen
- Firma Cemex Deutschland AG, Düsseldorf
- Firma Dyckerhoff AG, Wiesbaden
- Firma HeidelbergCement AG, Heidelberg
- Firma Holcim (Deutschland) AG, Hamburg
- Firma Lafarge Zement GmbH, Karsdorf
- Firma SCHWENK Zement KG, Ulm

Im Zuge der Untersuchungen wurden die Ausgleichsfeuchten von unterschiedlich zusammengesetzten, unbeheizten Zementestrichen geprüft. Folgende Einflussfaktoren wurden dabei berücksichtigt:

- Zementart:
CEM I 32,5 R / CEM I 42,5 N / CEM II/A-LL 32,5 R / CEM II/B-S 32,5 R
- Zusatzmittel:
0-Mörtel ohne Zusatzmittel / Luftporenbildner / Fließmittel
- Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung:
1:4 / 1:5 / 1:6 / 1:7 / 1:8 Masse-Teile
- Wasserzementwert (w/z-Wert):
0,4 / 0,5 / 0,6 / 0,7
- Estrichdicke:
40 / 60 / 80 mm
- Lagerungsbedingungen:
Klima A: 3 d 10/80 → 46 d 20/65 → 23/50
Klima B: 21 d 10/80 → 49 d 20/65 → 23/50

Der Zement CEM I 42,5 N wurde bei einem örtlichen Baustoffhändler beschafft. Die übrigen Zemente wurden von den beteiligten Zementherstellern zur Verfügung gestellt.

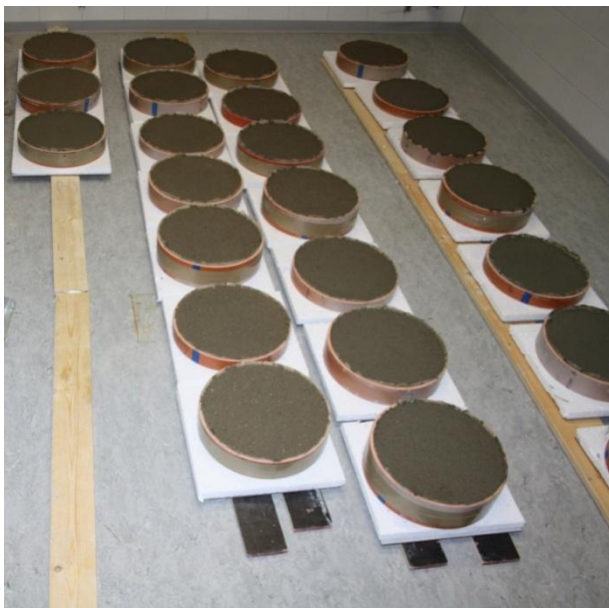


Für die Herstellung der Zementestriche wurde eine Gesteinskörnung 0/8 mm (Kiessand) verwendet, die überwiegend im Bereich zwischen den Regelsieblinien B₈ und C₈ nach DIN 1045-2 lag.

Zur Bestimmung der Ausgleichsfeuchte wurden aus den Zementestrichen Probepplatten auf Dämmschicht (Polystyrol-Trittschalldämmung) mit einem Durchmesser von 30 cm in Kunststoffschalungen hergestellt. Die Lagerung erfolgte in einem Klimaraum entsprechend den oben beschriebenen Klimata bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz. Die erforderlichen Trocknungszeiten betragen, abhängig von der Zementleim- bzw. Anmachwassermenge, im Durchschnitt etwa:

- Estrichdicke 40 mm: ca. 110 Tage bis 280 Tage
- Estrichdicke 60 mm: ca. 160 Tage bis 430 Tage
- Estrichdicke 80 mm: ca. 210 Tage bis 600 Tage

Die Belegreife zum Verlegen von Belägen war wesentlich früher vorhanden.



Probepplatten

Bei den Untersuchungen konnte eine Abhängigkeit der Ausgleichsfeuchte unbeheizter Zementestriche vom Zementleimgehalt (Zementleimgehalt = Zementmenge + Wassergehalt) des frisch verlegten Zementestrichs festgestellt werden. Ein Einfluss der unterschiedlichen Zementarten war nicht zu erkennen.

Die Rohdichten und die Zementleimmengen der frisch verlegten Zementestriche können wie folgt bestimmt werden:

$$\text{Rohdichte: } \rho = \frac{m}{V} \cdot 10^3 \quad [\text{kg/m}^3]$$

m = Gewicht einer Estrichprobe des frisch verlegten Zementestrichs mit bestimmten Abmessungen in g



$V = \text{Volumen der Estrichprobe in cm}^3$

Beispiel: Estrichprobe 30 cm x 30 cm x 5 cm

$$\rightarrow V = 30 \times 30 \times 5 = 4500 \text{ cm}^3$$

Gewicht der Estrichprobe 9000 g

$$\rightarrow \rho = \frac{9000}{4500} \cdot 10^3 = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Zementleimmenge: } ZL = \frac{\rho}{\Sigma MA} \cdot \left(1 + \frac{w}{z}\right) \quad [\text{kg/m}^3]$$

ρ = Rohdichte des frisch verlegten Zementestrichs

ΣMA = Summe der Mischungsanteile aus Zement, Gesteinskörnung und Wasser

w/z = Wasserzementwert

Beispiel: $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$

Mischungsverhältnis des Zementestrichs

Zement : Gesteinskörnung = 1 : 6 Masse-Teile

w/z -Wert = 0,6

$$\rightarrow \Sigma MA = 1 + 6 + 0,6 = 7,6 \text{ Mischungsanteile}$$

$$\rightarrow ZL = \frac{2000}{7,6} \cdot (1 + 0,6) = 421 \text{ kg/m}^3$$

Die Rohdichten und Zementleimmengen wurden für die Untersuchungen anhand der Größe und des Gewichtes der runden Probelplatten unmittelbar nach deren Herstellung berechnet. In der Praxis wäre eine Bestimmung dieser Werte anhand einer definierten Probe aus dem frisch verlegten Zementestrich analog möglich.

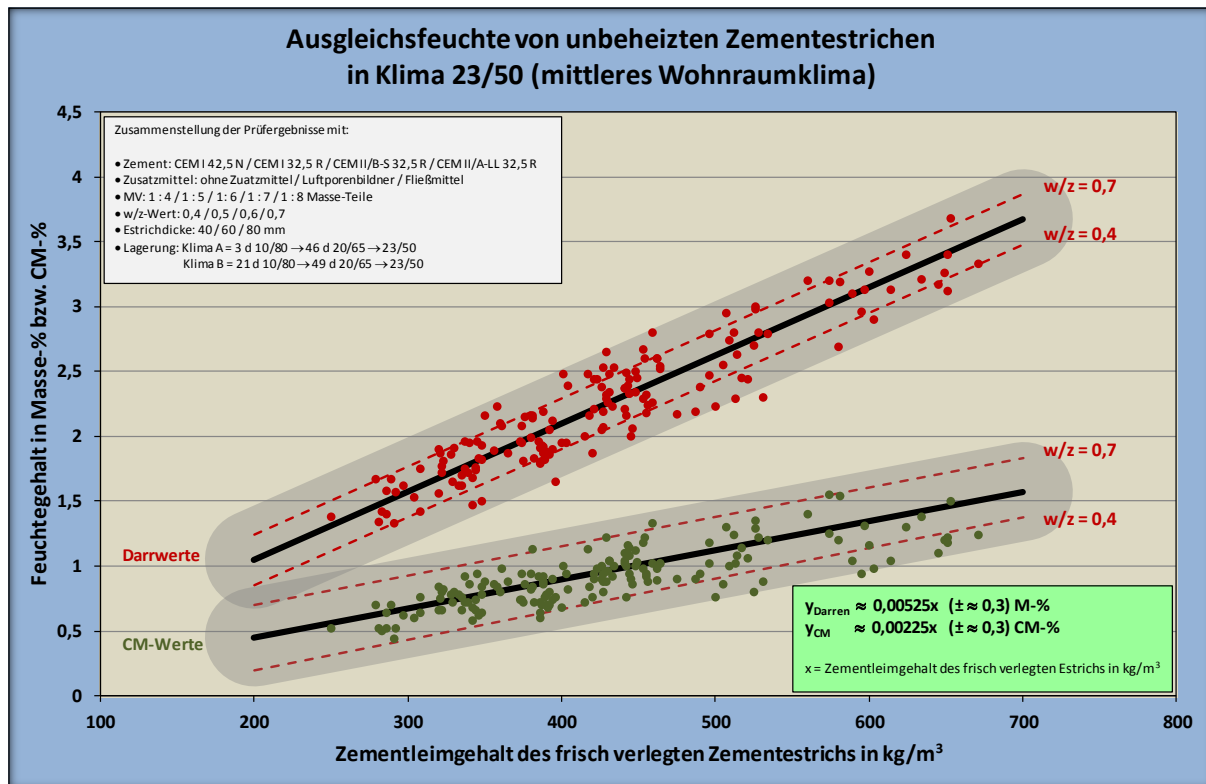
Die bei einem unbeheizten Zementestrich zu erwartende Ausgleichsfeuchte nach Lagerung in Klima 23/50 kann danach in Abhängigkeit des Zementleimgehaltes des frisch verlegten Zementestrichs für Wasserzementwerte $w/z \cong 0,4$ bis $w/z \cong 0,7$, mit dem Zementestriche üblicherweise herstellt werden, wie folgt abgeschätzt werden:

- $Y_{\text{Darren}} \approx 0,00525 \cdot x (\pm \approx 0,3) \text{ Masse-\%}$

- $Y_{\text{CM}} \approx 0,00225 \cdot x (\pm \approx 0,3) \text{ CM-\%}$

$$x = \text{Zementleimgehalt des frisch verlegten Zementestrichs in kg/m}^3$$

Bei bekannter Mischungszusammensetzung (Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung in Masse-Teilen), bekanntem Wassergehalt bzw. Wasserzementwert (w/z -Wert) und bekannter Rohdichte des frisch verlegten Zementestrichs kann die in etwa zu erwartende Ausgleichsfeuchte in Klima 23/50 mit der genannten Genauigkeit abgeschätzt werden. Das Klima 23/50 spiegelt dabei in ausreichender Näherung das in der Praxis im Durchschnitt vorzufindende übliche Wohnraumklima wider.

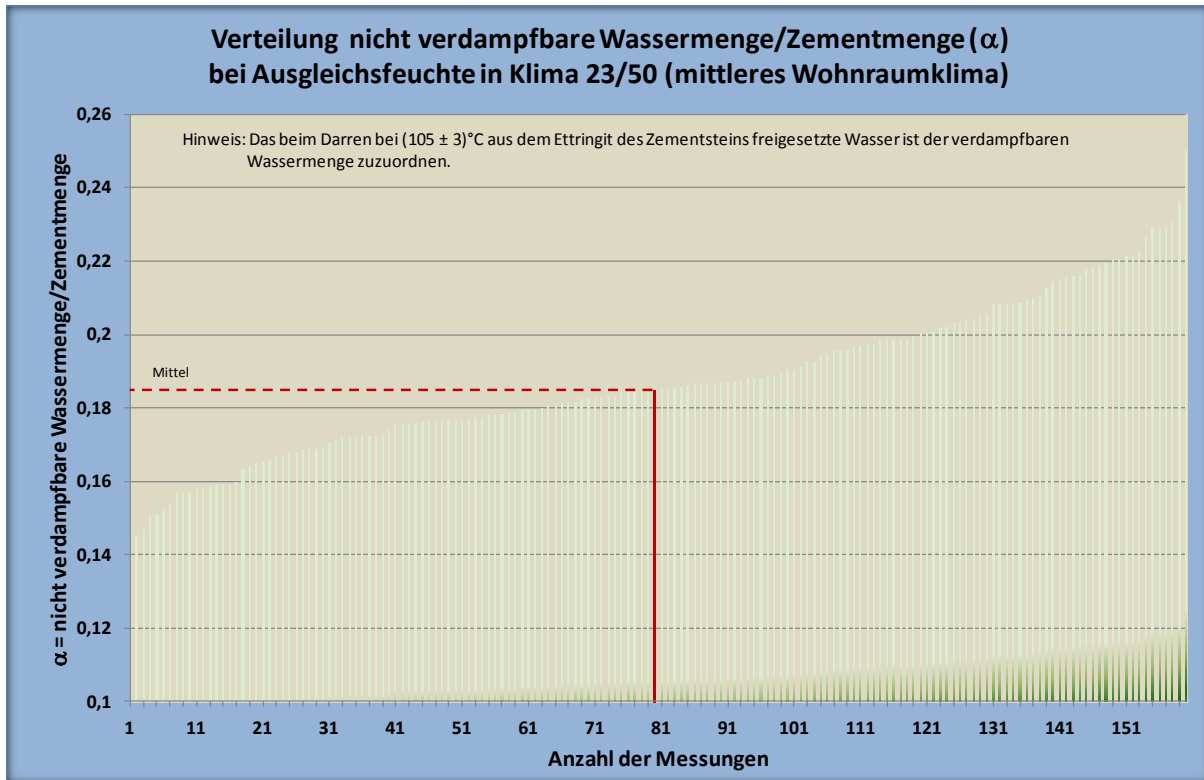


Zusammenstellung aller Untersuchungsergebnisse in graphischer Form

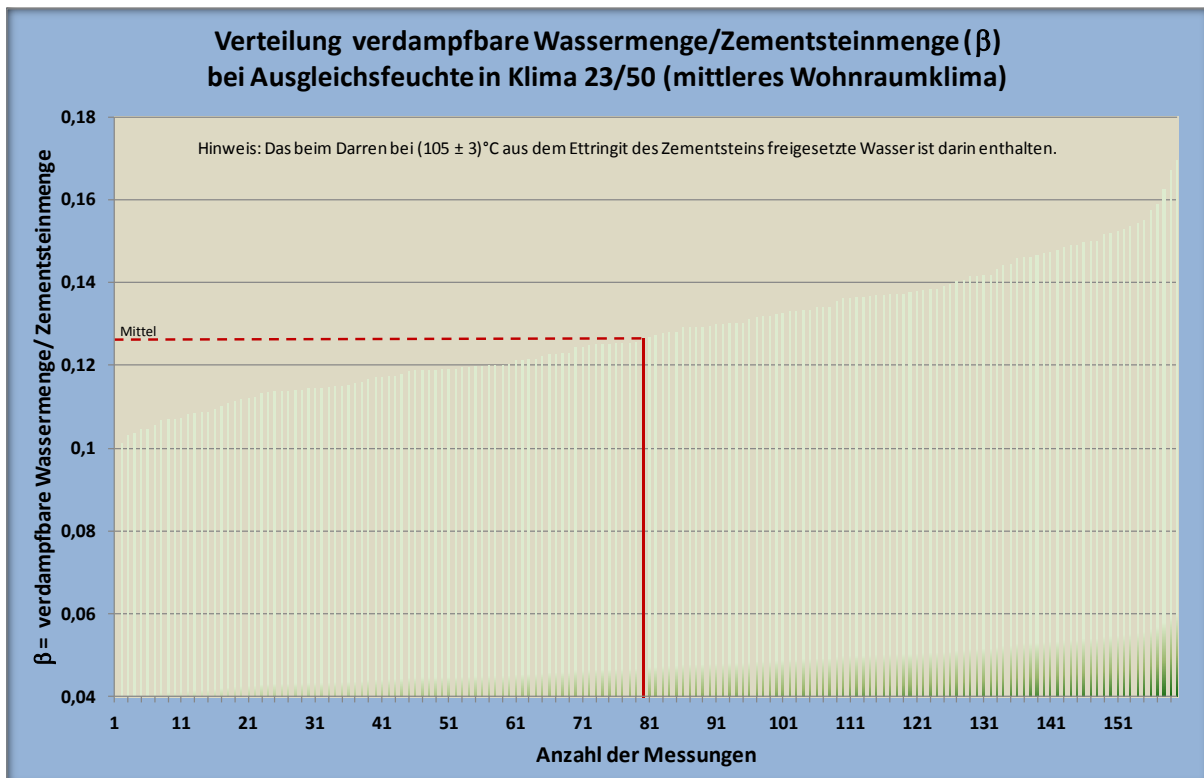
Auch bei getrennt dargestellten Einzelfaktoren (Estrichdicke, Zusatzmittel, Zementart, Lagerung) war die oben beschriebene Korrelation zwischen Zementleimgehalt des frisch verlegten, unbeheizten Zementestrichs und Ausgleichsfeuchte nach Lagerung in Klima 23/50 uneingeschränkt vorhanden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen auch, dass der Feuchtegehalt eines Zementestrichs mit Hilfe der CM-Messung mit praktisch gleicher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit wie mit Hilfe der Darrmessung (105 ± 3)°C bestimmt werden kann.

Bei Erreichen der Ausgleichsfeuchte in Klima 23/50 wurden im Mittel etwa 18,5 Masse-% nicht verdampfbare Wasser ermittelt ($\alpha = 0,185$). Im Zementstein waren zu diesem Zeitpunkt im Mittel 12,5 Masse-% an verdampfbarem Wasser vorhanden ($\beta = 0,125$). Mit zunehmendem w/z-Wert nahmen das nicht verdampfbare Wasser und die Menge an verdampfbarem Wasser tendenziell zu.



$\alpha = \text{nicht verdampfbare Wassermenge/Zementmenge}$



$\beta = \text{verdampfbare Wassermenge/Zementsteinmenge}$



Mit Ausnahme des Wasserzementwertes (w/z-Wert) hatten alle anderen geprüften Einflussfaktoren (Zusammensetzung, Estrichdicke, Zusatzmittel, Zementart, Verdichtung, Lagerung) keine Auswirkung auf die festgestellte Menge an nicht verdampfbarem Wasser bzw. die im Zementstein noch vorhandene Wassermenge bei Erreichen der Ausgleichsfeuchte in Klima 23/50.

Inwieweit die festgestellte Korrelation der Ausgleichsfeuchte unbeheizter Zementestriche in Klima 23/50 zum Zementleimgehalt des frisch verlegten Zementestrichs auch bei anderen als den vorliegenden Mengen an nicht verdampfbarem Wasser zutrifft, wurde nicht überprüft. Niedrigere Mengen an nicht verdampfbarem Wasser könnten sich beispielsweise infolge einer zu schnellen Austrocknung durch Zugluft ergeben. Höhere Mengen an nicht verdampfbarem Wasser könnten beispielsweise entstehen, wenn der Zementestrich nach der Verlegung längere Zeit vor Austrocknung geschützt wird.

Die Auswertungen zeigen, dass die Ausgleichsfeuchte mit zunehmendem Wasserzementwert (w/z-Wert) etwas größer wird. Tendenziell ist daher innerhalb der oben bereits genannten Genauigkeitsgrenzen bei Wasserzementwerten $w/z > 0,55$ mit einer Ausgleichsfeuchte etwas oberhalb, bei Wasserzementwerten $w/z < 0,55$ mit einer Ausgleichsfeuchte etwas unterhalb der oben genannten Rechenwerte zu rechnen.

Hinweise zur Korrelation zwischen Darrwert (105 ± 3)°C und CM-Wert:

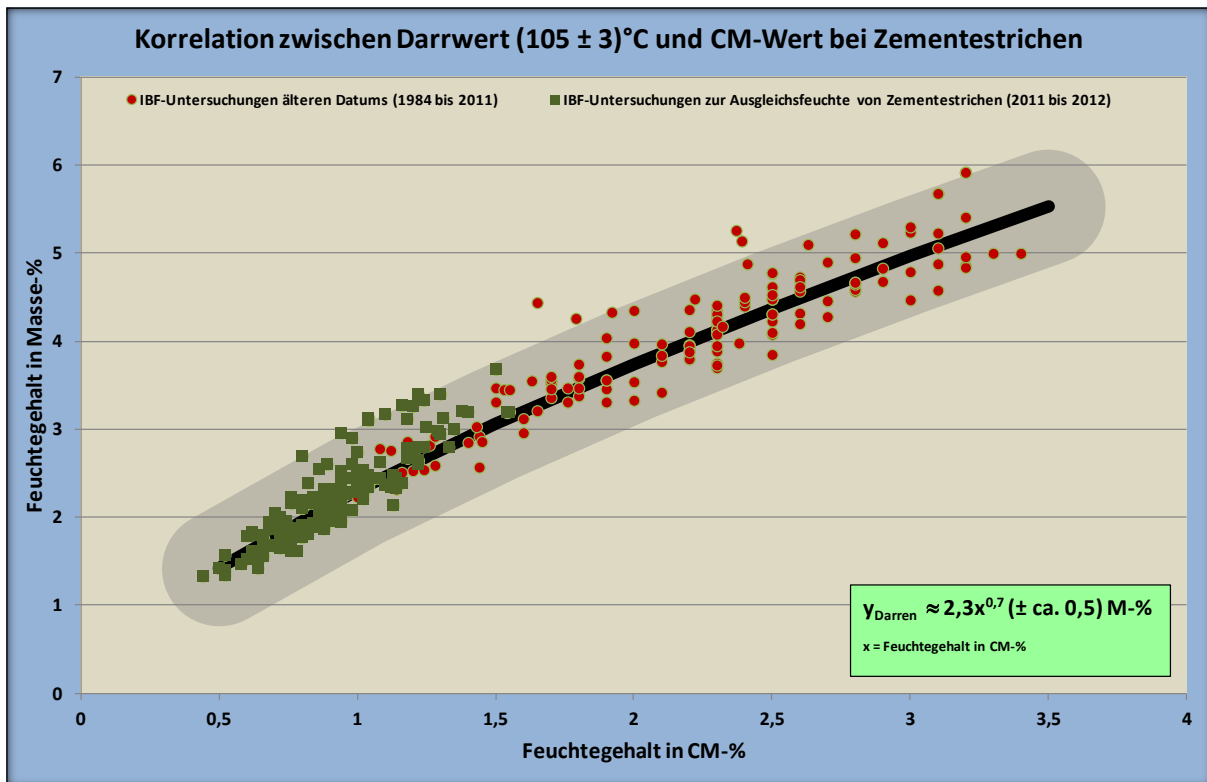
Im Zuge der Untersuchungen wurde auch die Korrelation zwischen Darrwert (105 ± 3)°C und CM-Wert überprüft. Da CM-Messungen in der Regel nicht erst zum Zeitpunkt des Erreichens der Ausgleichsfeuchte in üblichem, mittleren Wohnraumklima, sondern wesentlich früher durchgeführt werden, wurden zusätzlich Untersuchungsergebnisse des IBF älteren Datums (Zeitraum 1984 bis 2011) bis zu einem Feuchtegehalt von 3,5 CM-% ausgewertet.

Die Korrelation zwischen Darrwert (105 ± 3)°C und CM-Wert kann wie folgt angegeben werden:

$$Y_{\text{Darren}} \approx 2,3 \cdot x^{0,7} \quad (\pm \approx 0,5) \text{ Masse-\%}$$

$x = \text{Feuchtegehalt in CM-\%}$

Der Unterschied zwischen Darrwert (105 ± 3)°C und CM-Wert stellt keine gleichbleibende Größe dar. Mit zunehmendem CM-Wert wird die Differenz zwischen Darrwert (105 ± 3)°C und CM-Wert größer.



Korrelation zwischen Darrwert (105 ± 3)°C und CM-Wert bei der Feuchtemessung

Hinweise zur Belegreife für Beläge:

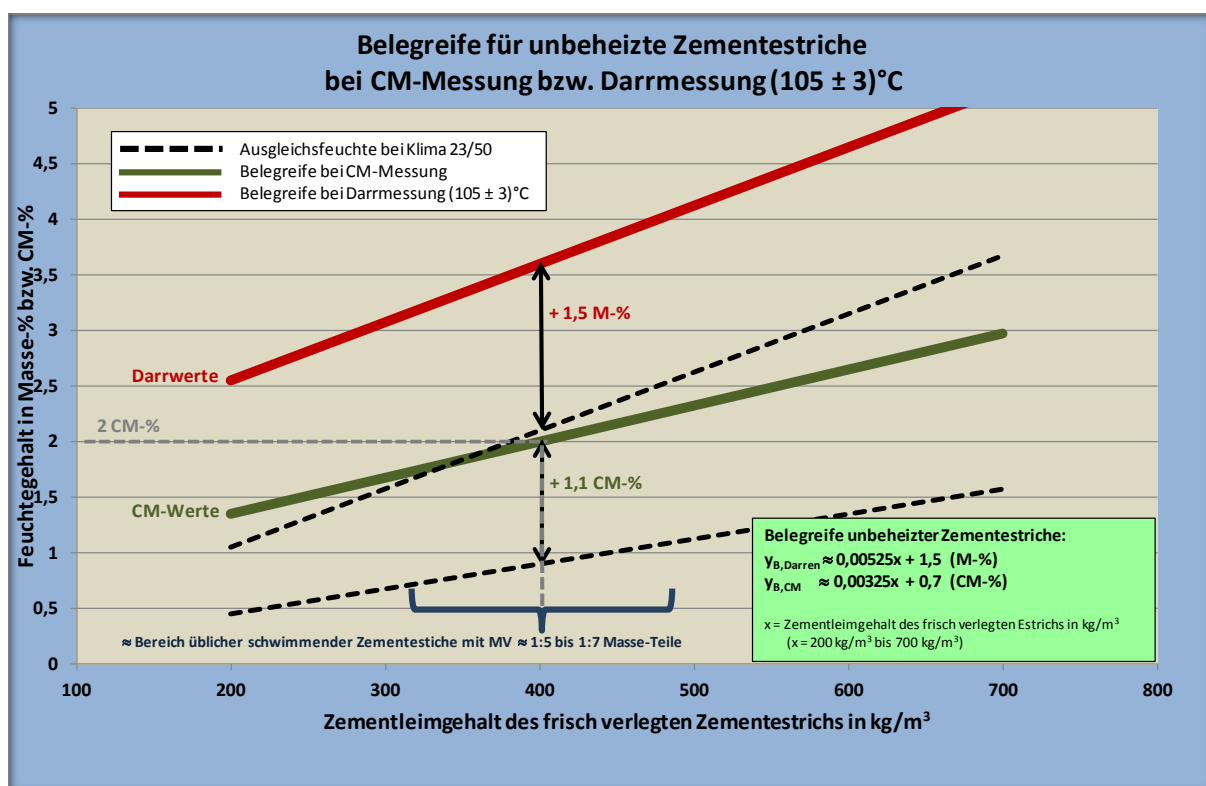
Die Belegreife unbeheizter Zementestriche wird zurzeit bei einem Feuchtegehalt von höchstens 2,0 CM-% angenommen. In der Regel wird dieser Wert einem Feuchtegehalt von etwa 3,5 Masse-% gleichgesetzt.

Für auf Dämmschicht oder Trennschicht verlegte unbeheizte Zementestriche mit üblicher Zusammensetzung (MV Zement : Gesteinskörnung in der Regel MV $\approx 1 : 5$ bis $1 : 7$ Masse-Teile) hat sich der oben genannte Wert für die Belegreife von höchstens 2,0 CM-% seit Jahrzehnten bewährt. Im Allgemeinen sind bei Einhaltung dieses Wertes keine Schäden bei der Verlegung von Belägen bekannt.

Für auf Dämmschicht oder Trennschicht verlegte unbeheizte Zementestriche mit üblicher mittlerer Zusammensetzung, entsprechend einem Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung $\cong 1 : 6$ Masse-Teile, und praxisgerechter Verdichtung ergibt sich ein Zementleimgehalt des frisch verlegten Zementestrichs von ca. 400 kg/m^3 . Bei diesem Zementleimgehalt ist bei üblichem Wohnraumklima eine Ausgleichsfeuchte von ca. 0,9 CM-% zu erwarten. Legt man den Grenzwert von 2,0 CM-% für die Belegreife unbeheizter Zementestriche zugrunde, so ergibt sich ein Unterschied zwischen den Werten der Belegreife und der Ausgleichsfeuchte von 1,1 CM-%. Aufgrund der dargestellten Korrelation zwischen Darrwert (105 ± 3)°C und CM-Wert entspricht dies einer Erhöhung um ca. 1,6 Masse-%. Um den Verlauf der Belegreife für Beläge bei der Darrmessung in Abhängigkeit vom Zementleimgehalt des frisch verlegten Zementestrichs zu erhalten, muss die Gerade, die die Ausgleichsfeuchte bei üblichem Wohnraumklima bei der Darrmessung charakterisiert, um diesen



Wert nach oben verschoben werden. Unabhängig von der Zusammensetzung verlieren Zementestriche gleicher Dicke dann nach dem Erreichen der Belegreife für Beläge in etwa die gleiche Menge an Wasser bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte in üblichem, mittleren Wohnraumklima. Der entsprechende Verlauf der Geraden für die Belegreife für Beläge bei der CM-Messung ergibt sich analog. Allerdings ist dabei noch die oben dargestellte Korrelation zwischen Darrwert (105 ± 3)°C und CM-Wert zu berücksichtigen. Daraus ergibt sich, dass der Unterschied zwischen CM-Wert zum Zeitpunkt der Ausgleichsfeuchte in Klima 23/50 und CM-Wert zum Zeitpunkt der Belegreife in Abhängigkeit der Zusammensetzung des Zementestrichs etwas variiert. Die so erhaltenen Verläufe der Belegreife unbeheizter Zementestriche in Abhängigkeit des Zementleimgehaltes des frisch verlegten Zementestrichs sind in nachfolgender Skizze dargestellt.



Ableitung der Belegreife für Beläge aus den Untersuchungsergebnissen und praktischen Erfahrungen

In obiger Skizze wurde der zulässige Unterschied zwischen Darrwert bei Belegreife für Bodenbeläge und Darrwert bei Ausgleichsfeuchte in Klima 23/50 zur Vereinfachung mit „1,5 Masse-%“ gewählt.

Die Belegreife kann danach auch wie folgt angegeben werden:

- $Y_{B,Darren} \approx 0,00525 \cdot x + 1,5$ (Masse-%)
 - $Y_{B,CM} \approx 0,00325 \cdot x + 0,7$ (CM-%)
- x = Zementleimgehalt des frisch verlegten Zementestrichs in kg/m^3



Der gewählte Unterschied zwischen Darrwert bei Belegreife für Bodenbeläge und Darrwert bei Ausgleichsfeuchte in Klima 23/50 in Höhe von „1,5 Masse-%“ bedeutet nicht, dass diese Menge an Wasser tatsächlich noch aus dem Zementestrich austrocknet. Ein Teil dieses Wassers wird mit der Zeit noch chemisch und physikalisch gebunden. Die tatsächlich noch austrocknende Wassermenge ist niedriger. Anhand der durchgeführten Untersuchungen sind hierzu allerdings keine genaueren Angaben möglich. Aus älteren IBF-Untersuchungen ist aber bekannt, dass zwischen Belegreife und Ausgleichsfeuchte in Klima 23/50 in der Regel noch ein Gewichtsverlust von etwa 1,0 Masse-% zu erwarten ist.

Zusammenfassung:

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass die Belegreife für Beläge bei unbeheizten Zementestrichen bei einem Zementleimgehalt des frisch verlegten Zementestrichs von ca. 320 kg/m^3 bis 480 kg/m^3 (Zementestriche auf Dämmschicht oder Trennschicht mit üblichen Mischungsverhältnissen Zement : Gesteinskörnung MV $\approx 1 : 5$ bis $1 : 7$ Masse-Teile) mit $\leq 2,0 \text{ CM-\%}$ bzw. $\leq 3,6 \text{ Masse-\%}$ (Darren bei $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$) angenommen werden kann. Ein Einfluss der Zementart wurde bei den Untersuchungen nicht festgestellt. Mit Ausnahme des Zementleimgehaltes des frisch verlegten Zementestrichs und des Wasserzementwertes konnten bei keinem der sonstigen überprüften Einflussfaktoren eine Auswirkung auf die Ausgleichsfeuchte in Klima 23/50 festgestellt werden.

Bei Zementestrichen mit Zementleimgehalten des frisch verlegten Zementestrichs oberhalb des oben genannten Anhaltswertes (z. B. zementreicherer Zementestrich mit Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung MV $\approx 1 : 4$ Masse-Teile mit einem Zementleimgehalt des frisch verlegten Zementestrichs $> 480 \text{ kg/m}^3$) könnten die Werte für die Belegreife für Beläge nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen höher gewählt werden. Allerdings fehlt hier noch die Bestätigung der im Labor ermittelten Werte in der Praxis. Da diesbezüglich weitere Untersuchungen notwendig sind, sollten hier zunächst die Grenzwerte $\leq 2,0 \text{ CM-\%}$ bzw. $\leq 3,6 \text{ Masse-\%}$ (Darren bei $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$) verwendet werden. Für Estriche auf Dämmschicht oder Trennschicht werden zu zementreich gemischte Zementestriche zudem in der Regel nicht verwendet, da bei diesen Estrichen mit zu großen Schwindverformungen gerechnet werden muss.

Für Zementestriche mit Zementleimgehalten des frisch verlegten Zementestrichs unterhalb des oben genannten Anhaltswertes (z. B. zementärmerer Zementestrich mit Mischungsverhältnis Zement : Gesteinskörnung MV $\approx 1 : 8$ Masse-Teile mit einem Zementleimgehalt des frisch verlegten Zementestrichs $< 320 \text{ kg/m}^3$) sollten die Werte für die Belegreife für Beläge nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen niedriger gewählt werden. Bei zu zementarm gemischten Zementestrichen werden wegen des geringen Zementgehaltes und der in der Regel schlechteren Verdichtbarkeit oftmals nicht die mindestens erforderlichen Festigkeitswerte für auf Dämmschicht oder Trennschicht verlegte Zementestriche erreicht. Zementestriche dieser Art sollten in der Praxis daher vermieden werden.

Die oben genannten Grenzwerte für die Belegreife gelten für Feuchtemessungen über den gesamten



Estrichquerschnitt.

Im Zuge der Untersuchungen wurden zusätzlich orientierende Prüfungen zur Bestimmung des Feuchtegehaltes durch Darren bei $(40 \pm 3)^\circ\text{C}$ sowie mit Hilfe der Messung der korrespondierenden Luftfeuchte durchgeführt. Die zurzeit vorliegenden Ergebnisse lassen allerdings keine abschließenden Bewertungen zu.

IBF/Mü/29.07.2013