

Bestimmung der relativen Baustofffeuchte zur Prüfung des Trocknungsverlaufs von Estrich mit verschiedenen Zementarten

Jochen Reiners und Christoph Müller, Düsseldorf

Die „Belegreife“ eines Estrichs liegt vor, wenn der Estrich nach seinem Einbringen soweit getrocknet ist, dass der maximale Feuchtegehalt erreicht oder unterschritten wird, der vor Verlegung eines bestimmten Bodenbelags vorhanden sein darf. Wird ein Bodenbelag aufgebracht, bevor die Belegreife erreicht ist, muss mit Schäden am Bodenbelag bzw. am Estrich gerechnet werden. Die heute am häufigsten zur Ermittlung des Feuchtigkeitsgehalts von Estrichen verwendete Carbid-Methode trägt nicht in allen Fällen den Besonderheiten der Porengrößenverteilung und der Ausgleichsfeuchte verschiedener Estriche Rechnung. In einem früheren Forschungsvorhaben wurde gezeigt, dass Estriche mit hüttensandhaltigen Zementen bei üblichen Umgebungsbedingungen langsamer Feuchte an die Umgebung abgeben und höhere Gleichgewichtsfeuchten aufweisen können als Estriche mit Portlandzement. Eine Möglichkeit, die Belegreife unabhängig von der Porenverteilung und der Sorptionsisotherme des Estrichs zu definieren, läge in der Festlegung von Richtwerten für die relative Baustofffeuchte. In einem Forschungsprojekt wurde untersucht, welche hygrometrischen Verfahren zur Feuchtebestimmung von Estrichen sinnvoll zum Einsatz kommen könnten.

1 Einleitung

Im Sinne eines zügigen Baufortschritts haben Bauherren und bauausführende Firmen ein Interesse daran, dass Estriche möglichst bald nach ihrer Verlegung soweit getrocknet sind, dass ihre Belegreife erreicht ist. Die Anwendung der Carbid-Methode (oder „CM-Methode“) ist mit Neufassung der DIN 18560-1 [1] zur Beurteilung der Belegreife von Zementestrichen normativ vorgegeben. Ergebnisse eines früheren Forschungsvorhabens (IGF 17928N) haben gezeigt, dass Estriche mit hüttensandhaltigen Zementen bei üblichen Umgebungsbedingungen

- langsamer Feuchte an die Umgebung abgeben und
- höhere Gleichgewichtsfeuchten (in M.-%) aufweisen können als Estriche mit Portlandzement.

Gleichzeitig wurde dargelegt, dass eine höhere Gleichgewichtsfeuchte keine Einschränkung der Anwendung solcher Estriche mit hüttensandhaltigen Zementen bedeutet, da die Estriche diese Feuchte nicht mehr an die Umgebung abgeben und damit auch keine Schäden an Fußbodenkonstruktionen zu befürchten sind. Die derzeit praxisübliche Prüfung der Belegreife über die Bestimmung des Feuchtegehalts mit der CM-Methode (mit definierten Maximalwerten, die anhand des Trocknungsverhaltens von Estrichen mit Portlandzement definiert wurden) trägt nicht in allen Fällen den Besonderheiten der Porengrößenverteilung und der Ausgleichsfeuchte verschiedener Estriche Rechnung.

2 Forschungsziel und Lösungsweg

Die Festlegung von Richtwerten für die relative Baustofffeuchte wäre eine Möglichkeit, die Belegreife unabhängig von der Porenverteilung und der Sorptionsisotherme des Estrichs zu definieren. Im Forschungsprojekt sollte untersucht werden, welche hygrometrischen Verfahren zur Feuchtebestimmung von Estrichen sinnvoll zum Einsatz kommen könnten.

- a) Es sollte überprüft werden, ob eine Messung und Bewertung der relativen Luftfeuchte in Zementestrichen zu einer Beurteilung der Belegreife führt, die den Charakteristika verschiedener Zementarten hinsichtlich ihres Porengefüges und ihrer Sorptionsisothermen besser Rechnung trägt als der Feuchtegehalt im Zementestrich, ausgedrückt in CM- oder M.-%. Hierbei sollten verschiedene Methoden zur Bestimmung der relativen Luftfeuchte im Baustoff Anwendung finden.
- b) Es sollte überprüft werden, wie praktikabel und wie reproduzierbar die Messung der relativen Luftfeuchte im Baustoff mit verschiedenen Verfahren ist. Insbesondere sollte bestimmt werden, nach welchen Zeiträumen für verschiedene Messmethoden ein aussagekräftiges Messergebnis abgelesen werden kann.

3 Durchgeführte Arbeiten

3.1 Angewandte Methoden zur Feuchtebestimmung

Folgende Methoden zur Bestimmung der relativen Baustofffeuchte von Zementestrichen kamen zur Anwendung:

- Bestimmung der relativen Feuchte im Stemmgut
- Bestimmung der relativen Feuchte an der Estrichoberfläche
- Bestimmung der relativen Feuchte über in den Estrich eingebrachte Messhülsen.

Zum Vergleich wurden Prüfungen mit der Calciumcarbid-Methode (CM-Prüfung) durchgeführt. Die Durchführung der Prüfungen sowie die Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

3.2 Herstellung und Lagerung von Probekörpern

Tafel 1 zeigt die untersuchten Estrichzusammensetzungen: es wurden zwei Mischungen mit jeweils vier verschiedenen Zementarten verwendet. Jeweils zwölf Probekörper mit einer Grundfläche von 20 cm x 20 cm und einer Estrichdicke von 6 cm wur-

den hergestellt. Zum Betonieren wurden Formen aus Hartschaumplatten verwendet, die an der Innenseite mit diffusionsdichtem Klebeband ausgekleidet wurden (Bild 1). Bis zur Prüfung verblieben die Probekörper in diesen Formen. So war sichergestellt, dass eine Trocknung – wie bei Estrichen der Praxis – nur zur Oberseite hin stattfinden konnte.

In diesem Betontechnischen Bericht sind aus Platzgründen nur Ergebnisse für die Estriche mit einem Zementgehalt von 300 kg/m³ dargestellt (Estriche E1, E3, E5 und E7).

Die Verdichtung der Estriche erfolgte in zwei Lagen auf einem Vibrationstisch. Nach der Herstellung wurden die Probekörper rd. 24 h in einem Feuchtschrank bei rd. 20 °C und 100 % rel. Feuchte gelagert, danach erfolgte die Umlagerung in das Klima 20 °C/65 % rel. Feuchte. Die Feuchtemessung der Estriche wurde für jede Zusammensetzung 7 d, 14 d, 28 d, 56 d und 84 d nach der Herstellung an den hierfür vorgesehenen Probekörpern durchgeführt. Auf diesem Wege konnte die zeitliche Entwicklung des Trocknungsprozesses erfasst werden.

Tafel 1:Untersuchte Estrichzusammensetzungen

Zementart	CEM I 42,5 R	CEM II/A-LL 42,5 N	CEM II/B-V 42,5 R	CEM III/A 42,5 N
Zementgehalt 300 kg/m ³ , w/z = 0,65; Rheinkiessand B8	E 1	E3	E5	E7
Zementgehalt 330 kg/m ³ , w/z = 0,55; Fließmittel PCE 0,2 M.-% v.z, Rheinkiessand B8	E 2	E4	E6	E8

3.3 Bestimmung der relativen Feuchte im Stemmgut

Eine skandinavische Norm [2] beschreibt ein Verfahren zur Messung der relativen Luftfeuchte von Beton- und Mörtelproben in geschlossenen Behältern. Ein ähnliches Verfahren wird in [3] beschrieben, dort werden Kunststoffbeutel verwendet. Die Bestimmung der relativen Estrichfeuchte wurde hier in Anlehnung an [2] durchgeführt.

Für die Messung der relativen Feuchte im Stemmgut wurden Teilproben aus dem Estrich jeweils aus der oberen und der unteren Hälfte der Probekörper mittels eines elektrischen Stemmhammers gewonnen. Wie in der Norm beschrieben, wurden rd. 2/3 der Behälter mit dem zu untersuchenden Estrich gefüllt und die Behälter verschlossen (Bild 2). In die Deckel der Kunststoffbehälter wurden Löcher gebohrt, die zunächst mit Knetmasse

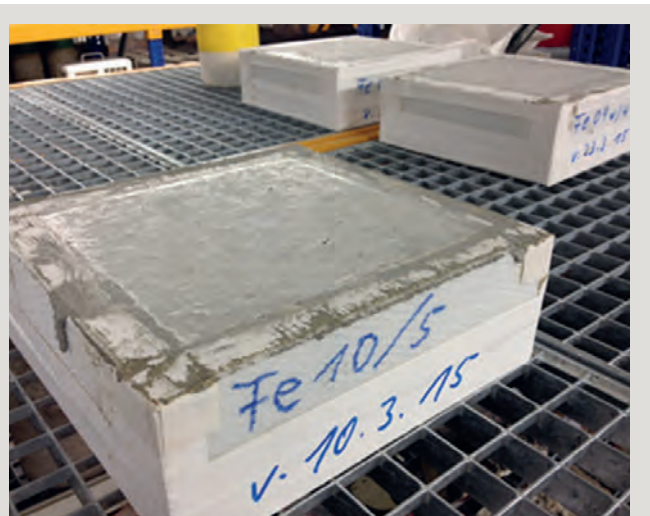
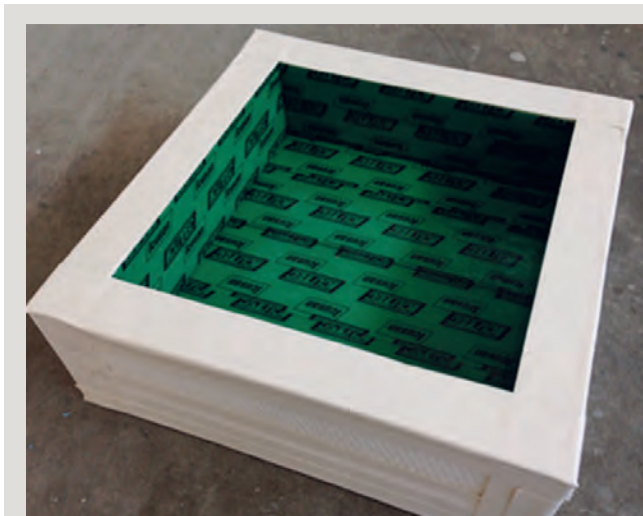


Bild 1: Probekörper zur Untersuchung des Trocknungsverhaltens von Estrichen



Bild 2: Stemmgut in Kunststoffbehältern

verschlossen wurden. Am Tag nach dem Einfüllen des Estrichs wurden Hygrometer durch die Löcher eingeführt.

Die Messung der relativen Feuchte im Stemmgut erfolgte, wie in [2] beschrieben, 48 h nachdem die Estrichprobe in die Kunststoffbehälter eingebracht worden war. Die Ergebnisse für die Estriche E1, E3, E5 und E7 sind in Bild 3 dargestellt (jeweils Mittelwerte der Messungen an zwei Probekörpern). Beim Vergleich der relativen Feuchte für die verwendeten Zementarten kann nicht wie bei der Darr- oder CM-Prüfung festgestellt werden, dass der Estrich mit CEM III/A langsamer trocknet. Es liegt im Gegenteil bei den Estrichen E7 meist eine eher geringere relative Baustofffeuchte vor als bei den Estrichen mit anderen Zementarten.

Im Vergleich zu den anderen im Versuchsprogramm untersuchten Methoden zur Bestimmung der relativen Baustofffeuchte ist bei dieser Methodik das Gewinnen von Stemmproben erforderlich. Die Nachteile der CM-Prüfung und der Darmmethode, nämlich die relativ aufwendige Probenahme sowie die recht hohe

Wahrscheinlichkeit, eine nicht repräsentative Probe aus dem Estrich zu gewinnen, werden damit „übernommen“. Auch die Tatsache, dass das Messergebnis erst 48 Stunden nach dem Stemmen bestimmt werden kann, ist als Nachteil zu werten. Die Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) des Industrieverbands Klebstoffe e.V. erlaubt in [3] den Beginn der Messung unmittelbar nach dem Einfüllen des Stemmguts in den Kunststoffbeutel.

3.4 Bestimmung der relativen Feuchte an der Estrichoberfläche

Die Messung der relativen Feuchte an der Estrichoberfläche, auf die z.B. in [4] verwiesen wird, erfolgte über ein Hygrometer, das die Luftfeuchte in einem begrenzten Luftvolumen misst, das sich im Feuchtegleichgewicht mit der Estrichoberfläche befindet, aber von der Umgebungsluft durch eine Abdichtung getrennt ist. Verschiedene Hersteller bieten hierzu entsprechende Geräte an. Im Forschungsvorhaben wurde das „Hygrohood“ der Firma Tramex verwendet (Bild 4).

Bild 5 zeigt den Verlauf der mit dem „Hygrohood“ ermittelten Feuchte unmittelbar nach dem Auflegen auf den Estrich

und über einen Zeitraum von mehreren Stunden danach. Man erkennt, dass sich die angezeigte Feuchte an der Estrichoberseite auch nach mehreren Stunden noch ändern kann.

Mit einer Information über die relative Feuchtigkeit an der Oberseite eines Estrichs kann nicht auf die Feuchteverteilung über die Estrichhöhe und auf die Feuchte im Inneren des Estrichs geschlossen werden. Die Bestimmung der relativen Feuchte an der Estrichoberfläche scheint daher als Entscheidungshilfe im Hinblick auf die Belegreife nur bedingt geeignet.

3.5 Ermittlung der relativen Feuchte über Messhülsen im Estrich

In der skandinavischen Norm [5] ist die Messung der relativen Feuchte in Beton über das Einführen von Feuchtesensoren in vorab hergestellten Bohrlöchern beschrieben. Es werden zwei Verfahren (ohne und mit Auskleidung des Bohrlochs mit einer Kunststoffhülse) beschrieben. Im Forschungsvorhaben wurden die Bohrlöcher mit Kunststoffhülsen ausgekleidet, um zu erreichen, dass der Feuchtegehalt an der Unterseite des Bohrlochs erfasst wurde und dieser Wert nicht durch Feuchtegehalte entlang der Bohrlochhöhe beeinflusst wurde. In [6] ist ein Verfahren für Betonböden beschrieben,

bei dem Messhülsen an Schalung oder Bewehrung befestigt werden und so Messstellen für die Bestimmung beim Einbringen des frischen Betons angelegt werden. Auch diese Methode kam hier für die Bestimmung der relativen Baustofffeuchte zur Anwendung.

Es kamen Messhülsen mit Durchmessern von 8 mm bzw. 18 mm von zwei Herstellern zur Anwendung. Die Feuchtesonden der gleichen Hersteller waren auf den jeweiligen Durchmesser der Messhülsen abgestimmt. Die Bilder 6 und 7 zeigen beispielhaft einen Probekörper mit Messhülsen $d = 8$ mm zur Messung der Feuchte in 2 cm und 4 cm Tiefe sowie Messhülsen

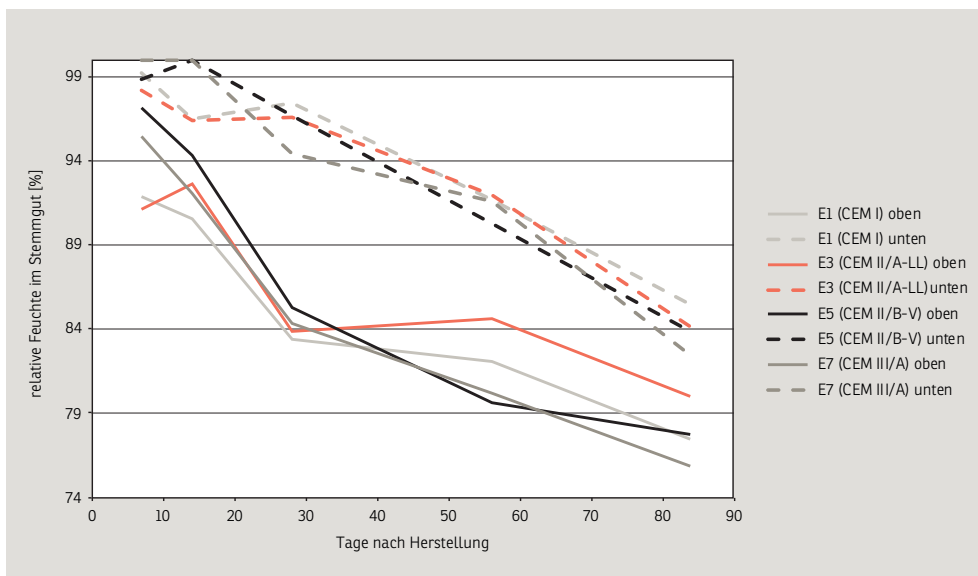


Bild 3: Relative Baustofffeuchte im Stemmgut (Estriche E1, E3, E5, E7)



Bild 4: Bestimmung der relativen Feuchte an der Estrichoberfläche

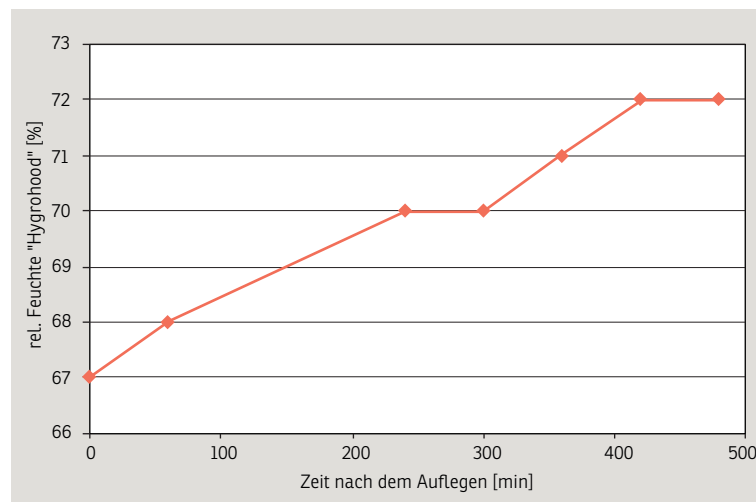


Bild 5: Relative Feuchte an der Estrichoberfläche, Estrich E3, 28 d nach Herstellung

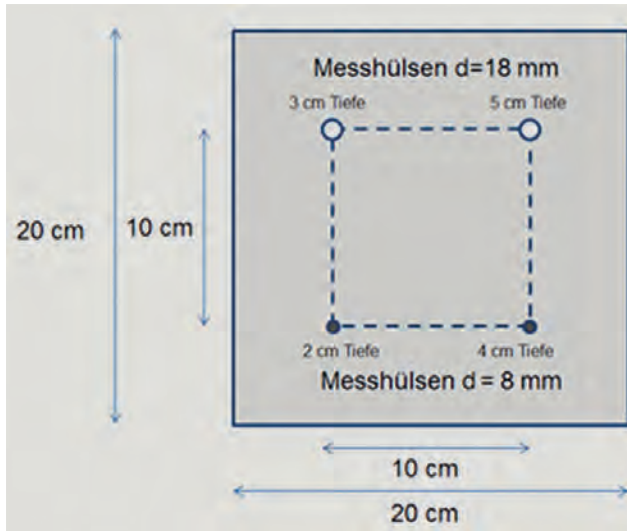


Bild 6: Beispielhafte Anordnung der Messhülsen in einem Probekörper

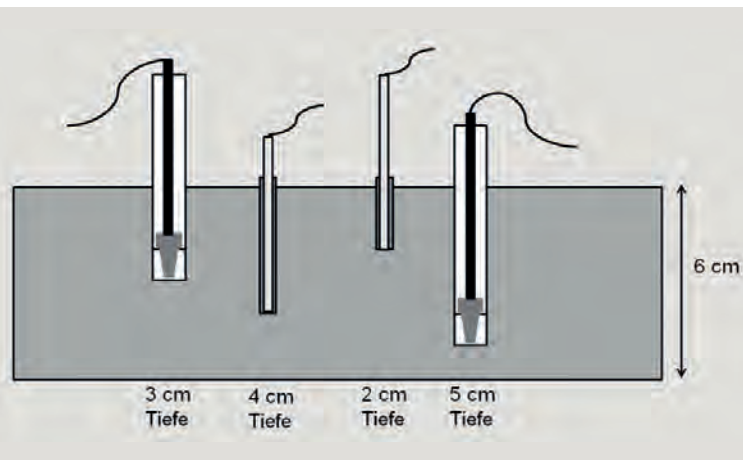
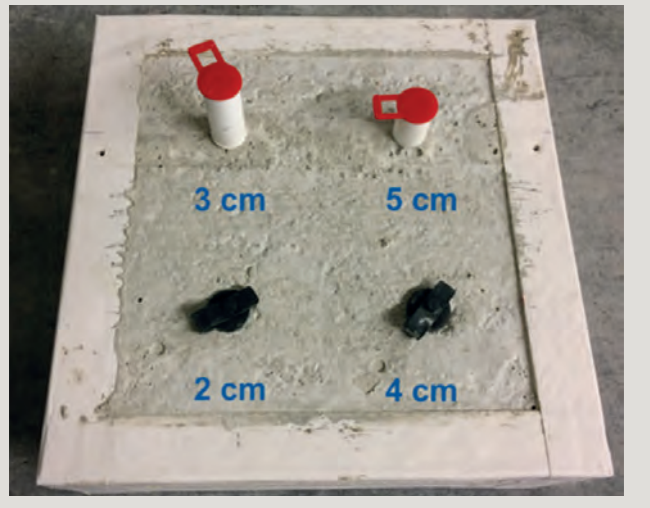


Bild 7: Beispielhafter Schnitt durch Estrichprobekörper mit Darstellung der Messhülsen

$d = 18 \text{ mm}$ zur Messung der Feuchte in 3 cm und 5 cm Tiefe. Zur Messung der relativen Feuchte wurden die Deckel der Messhülsen geöffnet und die Hygrometer für den jeweiligen Messhülsendurchmesser eingeführt. Eine konstante Feuchteanzeige stellte sich jeweils nach einem Zeitraum von bis zu 15 Minuten ein. Nach jeder Messung wurden die Deckel bis zur nächsten Messung wieder verschlossen.

Bild 8 zeigt beispielhaft das Ergebnis der Messungen der relativen Feuchte in den Messhülsen für die Estriche E1 und E7.

Folgende Feststellungen konnten getroffen werden:

- Grundsätzlich spiegelten die Verläufe der relativen Baustofffeuchte die Trocknung der Estriche mit fortschreitender Zeit sowie die erwartete Abstufung der Feuchte innerhalb der Estriche (d.h. höhere relative Feuchten mit wachsendem Abstand von der Oberfläche) meist gut wider.
- Die Messhülsen mit einem Durchmesser von 8 mm in 2 cm Tiefe lieferten zum Teil Ergebnisse, die sich deutlich von den Ergebnissen in 3 cm und 4 cm Tiefe. Dies könnte darin begründet sein, dass die Verankerung der Hülsen im Estrich durch die kurze Länge nicht ausreichend war. Die Hülsen waren tatsächlich etwas beweglich. Sie sollten entsprechend nur für Messungen in größeren Tiefen eingesetzt werden bzw. auf eine ausreichende Verankerung ist zu achten.

- In frühem Alter der Estriche stellten sich nicht durchgängig stetige Kurvenverläufe ein: z.B. wurden nach 14 d höhere Werte für die relative Feuchte gemessen als nach 7 d. Mit fortschreitendem Alter traten solch un stetige Verläufe nur noch selten auf.

Ein systematischer Einfluss der Zementart auf die relative Feuchte konnte nicht festgestellt werden. Insbesondere liegt die relative Feuchte in Estrichen mit CEM III/A nicht höher als die relative Feuchte in den Estrichen mit anderen Zementarten.

3.6 Vergleich der relativen Feuchte in Messhülsen mit den Ergebnissen der CM-Messung

Für die Gegenüberstellung der relativen Feuchte in Messhülsen und den Ergebnissen der CM-Messung wurden CM-Prüfungen wie in [7] beschrieben durchgeführt. Dazu wurden mit einem Stemmhammer Teilproben jeweils von der oberen und der unteren Hälfte jedes Probekörpers gewonnen und die CM-Feuchte ermittelt. Für den Vergleich wird im Folgenden die jeweils untere Hälfte der Estrichprobekörper betrachtet (Bild 9).

Bild 10 zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse der CM-Messung und der Mittelwerte der beiden Messungen der relativen Feuchte in 4 cm und 5 cm Tiefe für den Estrich E1 (mit Portlandzement).

Der Grenzwert für die Belegreife (nach DIN 18560-1 [1]: 2 % CM-Feuchte für „übliche“ unbeheizte Estriche) wird für die untere Hälfte des Estrichs E1 (300 kg/m^3 CEM I, $w/z = 0,65$) nach 56 d erreicht. Zum gleichen Zeitpunkt liegt in diesem Bereich eine mittlere relative Feuchte von rd. 84 % vor.

Die TKB führte im TKB-Bericht 2 aus dem Jahr 2013 [3] aus, dass sich nach dem Kenntnisstand zu jener Zeit „im Bereich der Belegreife bei unbeheizten Estrichen Messwerte unterhalb 75 % rel. LF“ einstellen. Geht man davon aus, dass es sich beim Estrich E1 um einen «üblichen» Estrich handelt und daher bei einer CM-Feuchte von 2 % die Belegreife erreicht ist, dann ist der von der TKB genannte Grenzwert von 75 % für den Estrich E1 offensichtlich zu gering angesetzt und damit eher konservativ. Auch nach 84 d im Klima $20 \text{ °C}/65 \text{ %}$ rel. Feuchte liegt die relative Feuchte noch bei rd. 81 %, also 6 % über dem von der TKB vorgeschlagenen Grenzwert, obwohl die CM-Feuchte zu diesem Zeitpunkt mit 1,7 % den Grenzwert für die Belegreife schon deutlich unterschreitet.

Auch die TKB hat inzwischen ausgeführt, dass die in [3] genannten Grenzwerte zu streng sind. Nach der Auswertung

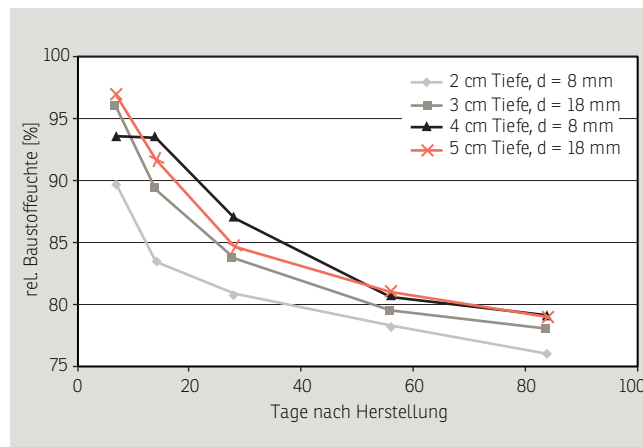
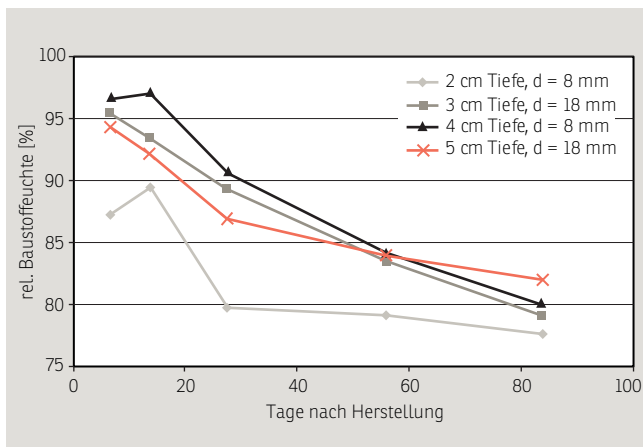


Bild 8: Relative Baustofffeuchte im Estrich E1 (CEM I, links) und im Estrich E7 (CEM III/A, rechts)

von Ringversuchen aus dem Jahr 2018 und 2019 und weiteren Untersuchungen am Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung Troisdorf wurde im TKB-Merkblatt 18 („KRL-Methode – Messung und Beurteilung der Feuchte von mineralischen Estrichen“) aus dem Februar 2021 [8] der Grenzwert für die Belegreife auf 80 % r.F. für unbeheizte Estriche erhöht. Gemäß der vorliegenden Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens ist aber auch dieser Wert im Vergleich zu einem CM-Wert von 2,0 % noch etwas zu gering.

Bild 11 zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse der CM-Messung und der Mittelwerte der beiden Messungen der relativen Feuchte in 4 cm und 5 cm Tiefe für den Estrich E7 (mit Hochofenzement).

Beim direkten Vergleich der Trocknungsverläufe des Estrichs E1 (CEM I) mit dem Estrich E7 (CEM III/A) zeigt sich:

- Die Werte für die relative Feuchte des Estrichs E7 (CEM III/A 300 kg/m³, w/z = 0,65) sind zum gleichen Zeitpunkt geringer als die des Estrich E1 (CEM I 300 kg/m³, w/z = 0,65). Gleichzeitig sind die Werte der CM-Feuchte beim Estrich mit CEM III/A höher.
- Den Wert von 84 % rel. Feuchte, also den Wert, der beim Estrich E1 (CEM I, w/z = 0,65) dem Grenzwert für die Belegreife (2 % CM-Feuchte) entspricht, erreicht der Estrich E7 (CEM III/A, w/z = 0,65) entsprechend früher als E1. Beim Estrich E7 entspricht dieser Wert einem Wert der CM-Feuchte von rd. 2,7 %. Das zeigt, dass der CM-Grenzwert für die Belegreife nicht für alle Zementarten einheitlich gewählt werden kann. Die untere Hälfte des Estrichs E7 weist auch nach 84 d noch eine CM-Feuchte von > 2 % auf. Der Trock-

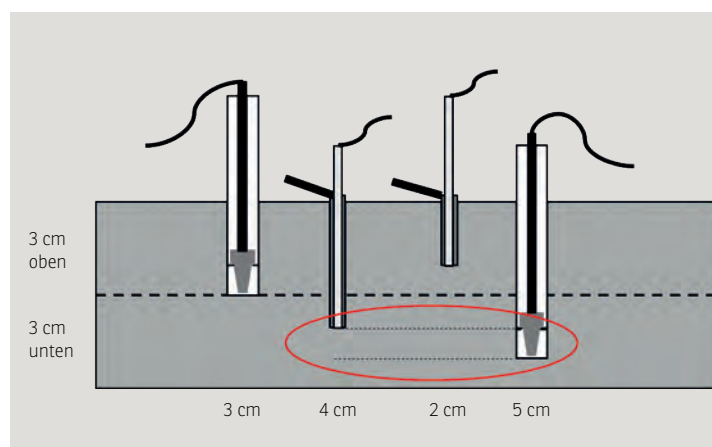


Bild 9: Mittelung der relativen Feuchte in 4 cm und 5 cm Tiefe zum Vergleich mit der CM-Messung für die untere Hälfte des Probekörpers

nungsverlauf lässt nicht erwarten, dass dieser Wert mit fortschreitender Trocknung noch deutlich verringert wird.

4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der dargestellten Untersuchungen zum Trocknungsverhalten von Zementestrichen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Aufgrund ihrer Sorptionsisotherme liegt die absolute Ausgleichsfeuchte von Zementestrichen mit hüttensandhaltigen Zementen höher als die von Estrichen mit Portlandzement

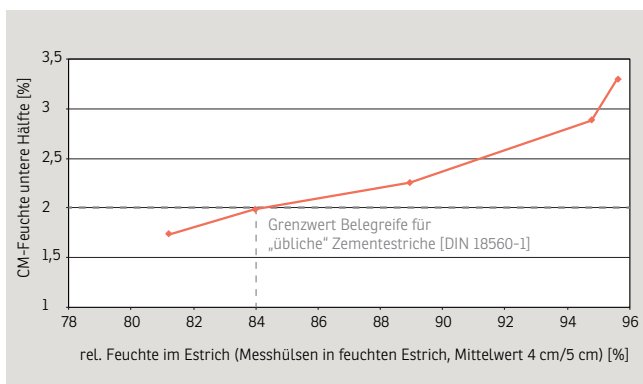


Bild 10: Relative Baustofffeuchte im Estrich E1 (CEM I, links) und im Estrich E7 (CEM III/A, rechts)

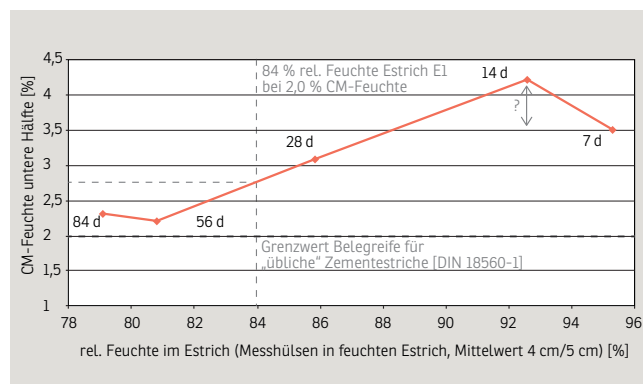


Bild 11: Relative Baustofffeuchte im Estrich E1 (CEM I, links) und im Estrich E7 (CEM III/A, rechts)

Tafel 2: Gegenüberstellung der CM-Messung und der Messung der relativen Baustofffeuchte über in den Estrich eingebrachte Messhülsen

CM-Prüfung	rel. Feuchte (Messhülsen)
Relativ aufwendige Probenahme und Versuchsdurchführung; die Gewinnung einer nicht repräsentativen Probe verfälscht das Versuchsergebnis	Aus baupraktischer Sicht ist die Herstellung von Bohrlöchern einfacher als die Probenahme für CM- oder Darrprüfung
Ein Messwert pro Probenahme	Am gleichen Bohrloch kann die Feuchte mehrfach zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen werden.
Geeignet, um die mittlere Feuchte eines Estrichs zu bestimmen	Aussage über Feuchteverteilung über die Höhe des Estrichs möglich
	Messergebnis berücksichtigt unterschiedliche Sorptionsisothermen/ Gleichgewichtsfeuchten verschiedener Estrichzusammensetzungen
Regelmäßige Überprüfung des Manometers (z.B. mit Referenzmaterial)	Überprüfung der Sonden in kurzen Zeitintervallen erforderlich
Weitgehend temperaturunabhängig	Berücksichtigung der Temperatur bei der Auswertung erforderlich

oder Portlandkalksteinzement. Bisher typische Grenzwerte für CM-Feuchtegehalte können von Zementestrichen mit hütten-sandhaltigen Zementen nicht immer erreicht werden. Soll die absolute (CM-) Feuchte von Zementestrichen auch in Zukunft als Maßstab für die Belegreife herangezogen werden, so sollten in Abhängigkeit von der Zementart unterschiedliche Grenzwerte festgelegt werden.

Es könnte gezeigt werden, dass die relative Baustofffeuchte von Estrichen mit hütten-sandhaltigen Zementen nach gleichen Trocknungszeiträumen ähnlich hoch oder sogar etwas geringer war als die von Estrichen mit Portlandzement oder Portlandkalksteinzementen. Das belegt, dass keine Notwendigkeit besteht, die Anwendung solcher Estriche einzuschränken.

Die Messung der relativen Feuchte von Estrichen erscheint gut geeignet, um zu beurteilen, ob die Belegreife eines Zementestrichs erreicht ist. Insbesondere die Ermittlung der relativen Baustofffeuchte über in den Estrich eingebrachte Messhülsen erwies sich als praktikabel und lieferte plausible und reproduzierbare Ergebnisse. Tafel 2 stellt die CM-Prüfung und die Mes-

sung der relativen Feuchte in Messhülsen vergleichend gegenüber. Geeignete Grenzwerte für die Belegreife sind festzulegen. Die bisher von der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V. Düsseldorf vorgeschlagenen Werte erscheinen zu konservativ.

Literatur

- [1] DIN EN 18560-1:2015-11 „Estriche im Bauwesen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung“
- [2] NT Build 490 1999-11 “Hardened Concrete self desiccation”
- [3] Belegreife und Feuchte: Die KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen. Industrieverband Klebstoffe, Düsseldorf 2013
- [4] BS 8203 2017-03 “Code of practice for installation of resilient floor coverings”
- [5] NT build 439 1995-11 “Hardened concrete relative humidity measured in drilled holes”
- [6] ASTM F 2170 2019 “Standard test method for determining relative humidity in concrete floor slabs using in situ probes”
- [7] Erning, O.; Limp, W.: So messen Sie die Restfeuchte: CM-Messung. Fliesen und Platten (2007) H. 8
- [8] KRL-Methode Messung und Beurteilung der Feuchte von mineralischen Estrichen. Industrieverband Klebstoffe, Düsseldorf 2021