

FEUCHTIGKEITSMESSUNGEN MIT HILFE DER CALCIUM-CARBID-METHODE - STATISTISCHE AUSWERTUNG

Hansjörg Epple, Mitglied der Fachgruppe Estriche der Technischen Kommission PAVIDENSA, Tecnotest AG, Rüschlikon

Ende 2007 veranstaltete die Interessengemeinschaft der Parkettindustrie ISP ein Seminar zum Thema Feuchtigkeitsmessungen von Estrichen. Unter fachkundiger Anleitung mussten die Teilnehmer mit ihren selbst mitgebrachten CM-Geräten die Feuchtigkeit von 41 gleich feuchten im Labor hergestellten Zementestrichmörtel-Proben messen. Die Ergebnisse der Messungen erlaubten statistisch abgestützte Aussagen über die allgemeine Genauigkeit von CM-Feuchtigkeitsmessungen. Der folgende Beitrag entspricht in stark gekürzter Form dem Bericht der Tecnotest AG «Messung der Feuchtigkeit von Estrichen mit Hilfe der Calciumcarbid-Methode» vom Frühjahr 2008.

BELEGREIFE

Ziel der Feuchtigkeitsbestimmung von Estrichen am Bauwerk ist, mit Hilfe von Stichproben abzuschätzen, ob der Belag auch an der feuchtesten Stelle des Estrichs ohne Risiko überbaut werden kann.

Bei der Prüfung des Estrichs am Bauwerk ist vor allem eine Aussage über die höchsten Feuchtigkeitswerte gefragt. Der mittlere Feuchtigkeitsgehalt ist von untergeordneter Bedeutung. Aus diesem Grund werden in der Regel auf der Estrichfläche gezielt Bereiche ausgewählt, wo höhere Feuchtigkeitsgehalte erwartet werden. Wegen den unterschiedlichen Trocknungsbedingungen kann die Feuchtigkeitsverteilung innerhalb einer Fläche ganz erheblich schwanken. So trocknen Estriche in schwach belüfteten Ecken und Räumen deutlich langsamer als im Bereich von Türen und Fenstern.



Unter fachkundiger Anleitung mussten die Teilnehmer mit ihren mitgebrachten CM-Geräten die Feuchtigkeit von im Labor hergestellten Zementestrichmörtel-Proben messen.

Der Feuchtigkeitsgehalt einer Probe ist auch abhängig von der Prüfmethode. Die Bestimmung der Feuchtigkeit mit Hilfe

der Calciumcarbid-Methode (CM-Messung) ergibt grundsätzlich nicht dasselbe Resultat wie eine Darrprüfung, die bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt wird. Bei Calciumsulfatestrichen beispielsweise wird der Feuchtigkeitsgehalt bei einer Darrtemperatur von 40 °C bestimmt. Für Proben aus Calciumsulfat entspricht die Darrfeuchtigkeit in der Regel recht genau der CM-Feuchtigkeit. Bei Zementmörteln ist die Darrtemperatur normalerweise 105 °C. Bei dieser Trocknungstemperatur ist der Feuchtigkeitsgehalt meist mehr als doppelt so hoch wie die CM-Feuchtigkeit. Näherungsweise entsprechen die Feuchtigkeitsgehalte von Zementmörteln nach einer Trocknung von 50 °C recht gut den CM-Werten. Abhängig von der Zementsorte sind grössere Unterschiede möglich.

Hinweis: Die mit verschiedenen Messmethoden geprüften Feuchtigkeitsgehalte sind nicht direkt miteinander vergleichbar. In der Norm SIA 253 ist die Calciumcarbid-Methode als Messbasis zur Bestimmung der Belegreife wie auch die dazugehörigen Grenzwerte festgelegt. Das Darrverfahren bei einer Temperatur von 50 °C ergibt bei Zementestrichen in der Regel leicht höhere Feuchtigkeitsgehalte als die CM-Messung (Ausnahme: Bei vielen Schnellzementen wird bei zu früher Prüfung mit dem Darrverfahren eine markant zu tiefe Feuchtigkeit gemessen!). Für calciumsulfatgebundene Estriche stimmt die Trocknung bei 40 °C mit der CM-Messung überein. Wichtig ist, dass bei jedem angegebenen Feuchtigkeitsgehalt auch das Messverfahren angegeben wird! In der Regel werden Feuchtigkeitswerte in Massen-% angegeben.

Messmethode	CM-Messung	50 °C	105 °C
Mittelwert aller Werte	1.80 CM-%	1.94 M ₅₀ -%	4.74 M ₁₀₅ -%
Standardabweichung s	0.16 CM-%	0.11 M ₅₀ -%	0.18 M ₁₀₅ -%
Doppelte Standardabweichung 2s	0.32 CM-%	0.22 M ₅₀ -%	0.36 M ₁₀₅ -%
Anzahl Prüfungen n	41	8	8

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Feuchtigkeitsmessungen:

CM-%: Calciumcarbidmethode in Massen-%

M₅₀-%: Trocknung bei 50 °C in Massen-%

M₁₀₅-%: Trocknung bei 105 °C in Massen-%

MESSRESULTATE

Die von den Prüfern ermittelten Feuchtigkeitsgehalte sind in der Tabelle 1 ausgewertet. Ebenso sind die Feuchtigkeitsgehalte nach der Darrtrocknung bei 50 °C und 105 °C angegeben.

Der tiefste gemessene Messwert lag bei 1.52 CM-% und der höchste bei 2.17 Masse-%. Statistische Testmethoden ergaben, dass die Maximalabweichungen nicht als Ausreisser zu identifizieren sind. Der mit der Darrprüfung ermittelte Feuchtigkeitswert liegt erwartungsgemäss etwas über dem mit der CM-Methode gemessenen Feuchtigkeitsgehalt. Die Standardabweichung der Darrprüfung ist selbst bei einer geringeren Anzahl von Messwerten kleiner als die Standardabweichung der CM-Methode. Dies war auch nicht anders zu erwarten, weil die CM-Messwerte von verschiedenen Prüfern und Messgeräten durchgeführt wurden.

WAHRER FEUCHTIGKEITSGEHALT

Der «wahre» Feuchtigkeitsgehalt einer Probe ist nicht bekannt. Er lässt sich mit

ANZAHL STICHPROBEN	VERTRAUENSINTERVALL		
	90 %	95 %	99 %
3	0.152	0.181	0.238
4	0.132	0.157	0.206
5	0.118	0.140	0.184
6	0.107	0.128	0.168
7	0.099	0.119	0.156
8	0.093	0.111	0.146
9	0.088	0.105	0.137
10	0.083	0.099	0.130

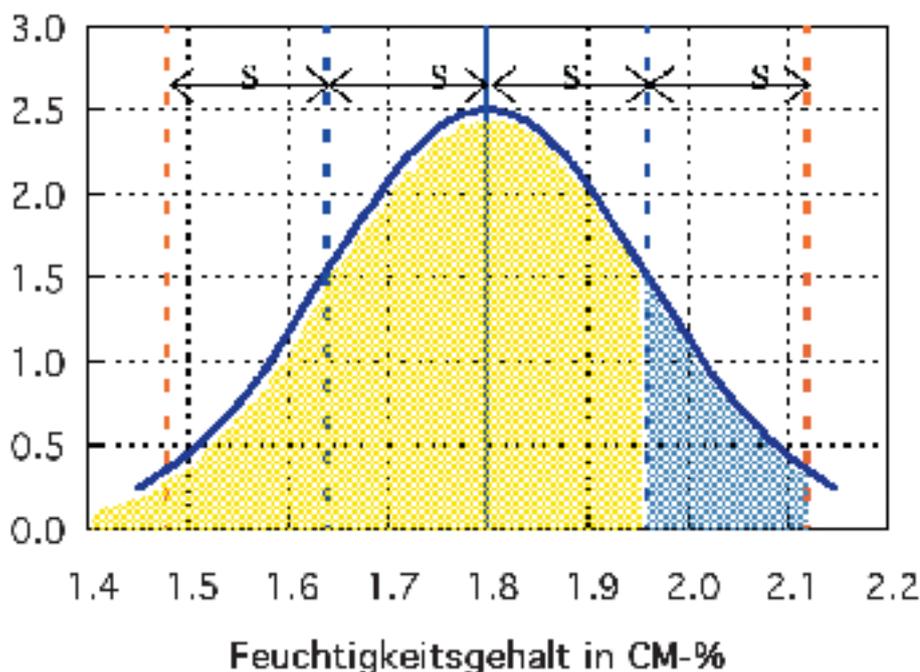
Tabelle 2: Vertrauensintervall für verschiedene Aussagewahrscheinlichkeiten und Anzahl von Stichproben.

Hilfe einer Prüfung lediglich abschätzen oder näherungsweise bestimmen. In der Regel wird der «wahre» Wert bei einer normal verteilten Feuchtigkeit mit Hilfe des arithmetischen Mittelwerts von einzelnen Prüferten näherungsweise ermittelt. Die Genauigkeit erhöht sich mit zunehmender Anzahl von Prüfungen. Mit Hilfe des arithmetischen Mittelwerts und der Standardabweichung der Stichprobe, kann mittels der Normal-Verteilungsfunktion der Streubereich der Messwerte statistisch beurteilt werden. In der Grafik 1 sind die Mittelwerte und die Standardab-

weichungen der ermittelten CM-Messungen in der Normal-Verteilungsfunktion eingetragen. Bei einer normal verteilten Stichprobe liegen rund 84 Prozent aller Messwerte unter dem Mittelwert plus dem einfachen Wert der Standardabweichung (gelbe Fläche). Wird die doppelte Standardabweichung zum Mittelwert hinzugezählt, werden rund 98 Prozent aller Messwerte unter diesem Wert liegen (gelbe und blaue Fläche).

Jede an den Estrichproben ermittelte CM-Messung liegt in unserem Beispiel also mit der recht hoch erscheinenden Wahrscheinlichkeit von 84 % unter 1.96 CM-%.

Normalverteilung der Stichprobe



Grafik 1: Normalverteilung einer Stichprobe: Im gelben Bereich (Mittelwert + s) liegen rund 84 % aller Messwerte.

VERTRAUENSINTERVALL BEI BEKANNTER STANDARD-ABWEICHUNG

Ohne Kenntnis des Mittelwerts und der Standardabweichung kann ein Messwert nicht eingeordnet werden. Der Mittelwert ist nicht bekannt. Liegen wenigstens Angaben über die Standardabweichung vor, lässt sich bereits mit einer geringen Anzahl von Proben eine verlässliche statistische Aussage über die wahrscheinliche Verteilung des Feuchtigkeitsgehalts machen.

Es ist in guter Näherung anzunehmen, dass die Standardabweichung von Stichproben für die Mittelwerte der Feuchtigkeitsgehalte zwischen 1.3 CM-% bis 2.5 CM-% etwa gleich gross bleibt und aufgrund der durchgeführten Stichprobe 0.16 CM-% beträgt.

ANZAHL	OBERE GRENZABWEICHUNG			
	75 %	80 %	93 %	97 %
3	0.312	0.341	0.500	0.557
4	0.291	0.316	0.476	0.525
5	0.277	0.300	0.459	0.504
6	0.267	0.288	0.447	0.488
7	0.259	0.278	0.438	0.475
8	0.253	0.270	0.430	0.465
9	0.247	0.264	0.424	0.457
10	0.243	0.259	0.418	0.450

Tabelle 3: Maximale obere Grenzabweichung, die mit den angegebenen Wahrscheinlichkeiten für eine unterschiedliche Anzahl von Stichproben von keinem weiteren Wert überschritten wird.

Mit Hilfe der bekannten Standardabweichung lässt sich anhand von wenigen Messwerten das Vertrauensintervall des erhaltenen Mittelwerts berechnen.

In der Tabelle 2 sind die Intervalle für die Wahrscheinlichkeiten von 90 %, 95 % und 99 % für unterschiedlich grosse Stichproben angegeben.

BEISPIEL (SIEHE TABELLE 2)

Wird aus einer kleinen Stichprobe, bestehend aus drei Messwerten, ein Mittel-

wert von 1.5 CM-% berechnet, befindet sich dieser Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % innerhalb eines Intervalls von 1.50 minus 0.152 und 1.50 plus 0.152, in dem der Mittelwert einer grossen Stichprobe liegen müsste, d.h. der Mittelwert aus einer grossen Stichprobe befindet sich mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % zwischen 1.35 CM-% und 1.65 CM-%. Mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 99 % erhöht sich dieses Intervall auf 1.26 CM-% und 1.74 CM-%. Mit zunehmender Anzahl von Messungen lässt sich das Vertrauensintervall einengen.



Zur Messung der Feuchtigkeit des Zementestrichmörtels füllten die Teilnehmer das Probenmaterial in die vorbereiteten Druckbehälter.

Um ein Vertrauensintervall festlegen zu können, müssen mindestens drei Stichproben durchgeführt werden (eine Probe ist keine Probe!). Aus der Tabelle 2 ist ersichtlich, dass mit drei Proben bereits mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eine recht gute Aussage über die Genauigkeit des mittleren Feuchtigkeitsgehalts gemacht werden kann. Bei der Prüfung der Belegreife interessiert der Mittelwert jedoch nicht. Gefragt ist der wahrscheinlich höchste Feuchtigkeitsgehalt.

Die Kontrolle der Belegreife eines Estrichs bezüglich des Feuchtigkeitsgehalts erfolgt in der Regel mit einer möglichst geringen Anzahl von Einzelprüfungen. Die Prüfungen werden normalerweise an denjenigen Stellen vorgenommen, wo die höchsten Feuchtigkeiten erwartet werden. Es stellt sich nun die Frage, wie viele Messungen notwendig sind, dass ein bestimmter Feuchtigkeitsgehalt mit einer guten Aussagewahrscheinlichkeit nicht überschritten wird.

Wird davon ausgegangen, dass die Prüfungen innerhalb des interessierenden Feuchtigkeitsbereichs mit gleicher Genauigkeit durchgeführt werden können, bleibt die gewonnene Standardabweichung aus der Stichprobe mit 41 Einzelmessungen für Stichproben in anderen Feuchtigkeitsbereichen näherungsweise konstant. Mit Hilfe des Vertrauensintervalls kann unter dieser Voraussetzung angegeben werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Maximalwert nicht überschritten wird.

In der Tabelle 3 sind die Wahrscheinlichkeiten für eine unterschiedliche Anzahl von Stichproben angegeben, bei der die angegebenen oberen Abweichungen nicht überschritten werden.

BEISPIEL (SIEHE TABELLE 3)

Wird aus drei Messwerten ein Mittelwert von 1.5 CM-% bestimmt, befindet sich mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 75 % kein Wert über 1.81 CM-%. Mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 93 % ist mit einer Stichprobe bestehend aus drei Einzelprüfungen kein weiterer Wert über 2.0 CM-% zu erwarten.

Um bei gleichem Mittelwert von 1.5 CM-% sehr sicher zu sein (Wahrscheinlichkeit 97 %), dass kein Feuchtigkeitswert über 2.0 CM-% liegt, müsste der Mittelwert aus einer grösseren Anzahl von Proben bestimmt sein. Die Probenanzahl müsste auf fünf erhöht werden.

Achtung: Die Wahrscheinlichkeit wird nicht verbessert, wenn die Stichprobe ausschliesslich aus Stellen mit erwartungsgemäss hohen Feuchtigkeiten gezogen wird.

MATERIAL-, KLIMA- UND MESS-TECHNISCHE EINFLÜSSE

Das Ergebnis der Prüfung der Estrichfeuchtigkeit am Bauwerk ist von zahlreichen materialbedingten, raumklimatischen und messtechnischen Einflüssen abhängig. Einige sind nachstehend aufgeführt.

MATERIALSPEZIFISCHE EINFLÜSSE

- Schichtdicke des Estrichs
- Unterschiedliche Mörtelmischungen
- Unterschiedliche Verdichtung und Rohdichte des Mörtels
- Trocknungsverhalten des Estrichmörtels
- Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit während der Trocknung
- Fussbodenheizung: Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Fussbodenheizung.

ANWENDUNGSSPEZIFISCHE EINFLÜSSE

- Auswahl der Probestellen
- Art der Probenahme und der Probenaufbereitung
- Vorzerkleinerung des Probematerials
- Genauigkeit der Einwaage
- Probemenge
- Pulverisierung der Probe; Länge, Art und Weise des Schüttelvorgangs
- Temperatur resp. Temperaturänderung während der Messung
- Zeitpunkt der Ablesung am Manometer
- Ablesegenauigkeit am Manometer.

GERÄTESPEZIFISCHE EINFLÜSSE

- Messgenauigkeit der Waage
- Messgenauigkeit des Manometers
- Volumen der Druckflasche
- Vollständigkeit des Kugelsatzes
- Dichtigkeit der Druckflasche.

Die gerätespezifischen Einflüsse von geprüften, einwandfrei gewarteten und funktionstüchtigen Geräten sind gegenüber den material- und anwendungsspezifischen Einflüssen klein. Messgeräte sind immer nach einem Qualitätsmanagementplan regelmässig zu warten und zu kontrollieren. Die Wartungsdaten und Kontrollprüfungen sind in einem Geräteblatt festzuhalten. Die Prüfgeräte sind mit einer Gerätenummer zu versehen.

Anhand der Feuchtigkeitsmessung wird in der Regel über die Belegreife des Estrichs entschieden. Massgebend für diesen Entscheid sind neben den Normen oder Weisungen auch die richtige Einschätzung der Situation vor Durchführung der Messungen und deren Einflussfaktoren. Eine gesicherte Beurteilung ist nur möglich, wenn dazu die notwendigen Informationen beschafft werden.

WICHTIGE ZU BESCHAFFENDE INFORMATIONEN

- Alter des Estrichs
- Art des Bindemittels
- Festigkeitsklasse des Estrichs
- Dicke des Estrichs
- Dickenunterschiede im Estrich
- Trocknungsbedingungen
- Aktive Trocknungsmassnahmen
- Aufheizprotokoll der Fussbodenheizung
- Abdeckungen mit Folien
- Bereits durchgeführte Feuchtigkeitsmessungen
- Besondere Messvorgaben.

Der Prüfer bestimmt Ort und Art der Probenahme und weitgehend auch die Messgenauigkeit. Die korrekte Probenahme, der richtige Einsatz und die korrekte Handhabung der regelmässig gewarteten Prüfgeräte geben die notwendige Sicherheit für eine richtige Einschätzung der Messwerte.

Presyn top-floor Fliessestrich. Selbstnivellierung inbegriffen.

Mehr davon: www.pink-schweiz.ch

**PRE
SYN**
top-floor

Presyn AG, 3006 Bern, Telefon 031 333 42 52, info@presyn.ch