

Schriftenreihe

Heft 95/2011

Daimlerstraße 18
70736 Fellbach
Tel.: (0711) 645 80 845
Fax: (0711) 645 80 846
E-Mail: info@rieche-schuerger.de
Internet: www.rieche-schuerger.de

Ingenieure und Sachverständige

Begutachtung und Beratung
Forschung und Entwicklung
Werkstoff- und Bauteilprüfung
Planung und Beweissicherung

Dipl.-Ing. (FH) Dennis Ziegler

Hygrometrische Feuchtemessung – Anwendung in der Praxis

Veröffentlicht in

7. Kolloquium Industrieböden 2010

TAE

Hygrometrische Feuchtemessung – Anwendung in der Praxis

Dipl.-Ing. (FH) Dennis Ziegler
Institut für Bautenschutz, Baustoffe und Bauphysik
Dr. Rieche und Dr. Schürger GmbH & Co. KG,
Fellbach, Deutschland

Zusammenfassung

Die Feuchtemessung in Estrichen ist in der Fachwelt ein häufig diskutiertes Thema. Vor allem in den letzten Jahren entbrannte die Diskussion darüber, ob die bislang zur Feststellung der Belegreife angewendete CM-Methode noch zeitgemäß ist. Für neue Estrichmischungen mit Trocknungsbeschleunigern und bei Schnellestrichen sollen die bislang geltenden Grenzwerte (Wassergehalt in CM-%) für die Belegreife nicht mehr anwendbar sein. Die hygrometrische Feuchtemessung im Estrich könnte alternativ zu einer Beurteilung der Belegreife führen.

Bislang gibt es in Deutschland für die Messung der hygrometrischen Feuchte in Estrichen und Beton weder ein genormtes noch ein allgemein anerkanntes Verfahren. Außerdem sind unterschiedliche Messgeräte auf dem Markt erhältlich. So gibt es daher in der Praxis sehr unterschiedliche Erfahrungen und Vorbehalte. Unsere Forschungsarbeiten haben demgegenüber ergeben, dass die hygrometrische Feuchtemessung mit PC-gestützten Messungen mit Datenloggern für die Praxis anwendbar ist und dass zuverlässige Ergebnisse zu erzielen sind. Einige unserer Ergebnisse werden hier dargestellt.

1. Einleitung

Beim Belegen von Estrichen treten immer wieder Schäden auf, die durch zu hohe Feuchtigkeit im Estrich zum Zeitpunkt des Belegens mit einem Bodenbelag verursacht werden. War die Feuchtigkeit zu diesem Zeitpunkt zu hoch, so hatte der Estrich seine Belegreife noch nicht erreicht. Der Grenzwert des Wassergehaltes im Estrich, welcher zur Beurteilung der Belegreife dient, wird nach den anerkannten Regeln der Technik [1, 2] mit der CM-Messung bestimmt.

Die Messung mit dem CM-Gerät ist problematisch, weil je nach Sorgfalt des Anwenders, der Auswahl der Entnahmestellen und Art und Weise der Entnahme der Proben erhebliche Abweichungen möglich sind, gemäß [3] bis zu 0,8 CM-Prozent. Für die Anwendung der CM-Messung bei Estrichen mit Trocknungsbeschleunigern oder bei Schnellestrichen werden von den Herstellern der Estrichmörtel oftmals Abweichungen von den Grenzwerten oder abgeänderte Messabläufe gefordert, also eine Abweichung von den anerkannten Regeln der Technik.

Aufgrund dieser Unzulänglichkeiten der CM-Messung für die Bestimmung der Belegreife von Estrichen suchen wir eine wissenschaftlich begründete Alternative, welche praxisgerechte Messungen erlaubt. Eine Alternative ist die hygrometrische Feuchtemessung. Die Ergebnisse unserer Forschungsarbeiten zeigen, dass die hygrometrische Feuchtemessung in der Praxis anwendbar ist.

2. Grundlagen

2.1 Sorption von Wasser in Baustoffen

Lagert man einen porösen mineralischen Baustoff in einem bestimmten Klima (ϑ_a , φ_a), so stellt sich im Baustoff durch die Belegung der Porenwänden mit Wassermolekülen ein zugehöriger Wassergehalt u_m ein. Dieser Wassergehalt u_m führt dazu, dass sich in den Poren eine bestimmte zugehörige relative Luftfeuchte φ_i einstellt. Diese Beziehung zwischen Wassergehalt u_m und relativer Luftfeuchte φ_i in den Poren bzw. φ_a in der umgebenden Luft wird mittels so genannter Sorptionsisothermen dargestellt. Abbildung 1 zeigt die charakteristische Sorptionsisotherme für poröse Baustoffe mit Angabe der Bindungsmechanismen des Wassers. Im Bereich unterhalb 95 % relativer Luftfeuchte liegt der so genannte hygroskopische Bereich vor, in dem durch Adsorption gebundenes Wasser im Baustoff vorliegt. Oberhalb 95 % r. L. liegt freies Wasser in den Poren vor. Hier spricht man vom überhygroskopischen Bereich. Für die hygrometrische Feuchtemessung spielt lediglich der hygroskopische Bereich eine Rolle.

Für die hygrometrische Feuchtemessung in unterschiedlichen Baustoffen sind deren Sorptionsisothermen wichtig, weil sie den Zusammenhang zwischen Wassergehalt und relativer Luftfeuchte im Baustoff

darstellen. Die Abbildung 2 zeigt typische Sorptionsisothermen von häufig auftretenden porösen Baustoffen.

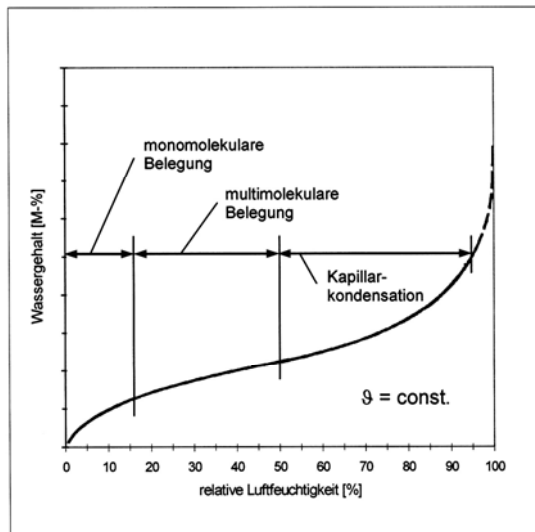


Abb.1: Sorption in porösen Baustoffen. Quelle: [7]

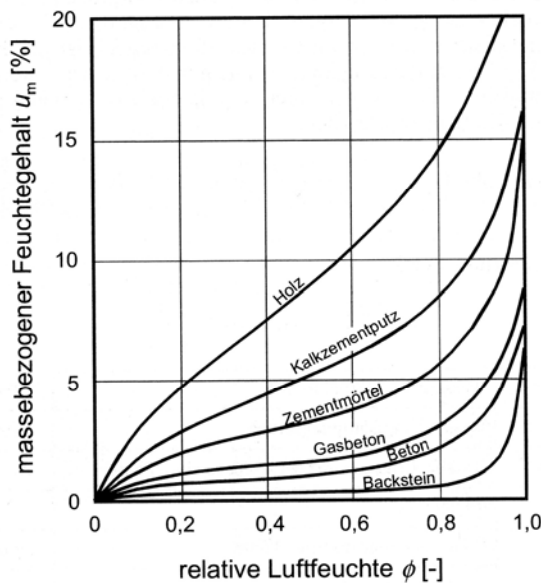


Abb.2: Sorptionsisothermen ausgewählter Baustoffe. Quelle: [11]

2.2 Belegreife von Estrichen

Gemäß [2] gelten folgende Grenzwerte des Wassergehaltes für die Belegreife:

Estrichart	beheizt	unbeheizt
Calciumsulfatestrich	0,3 CM-%	0,5 CM-%
Zementestrich	1,8 CM-% ¹⁾	2,0 CM-%

¹⁾ unter keramischen Fliesen und Steinbelägen 2,0 CM-%

Schnellestriche und Estriche mit Trocknungsbeschleunigern gelten gemäß [2] als Sonderestrich (Sonder-

bauweise), die aber auch mit der CM-Methode gemessen werden können. Allerdings gibt es hier keine allgemeinverbindlichen Grenzwerte.

Bei der CM-Messung wird bei sorgfältiger Prüfung eine möglichst gleichmäßige Probenentnahme über den gesamten Estrichquerschnitt vorausgesetzt (Durchschnittsprobe). Bei Parkett wird gemäß [1] davon abgewichen und die Probenentnahme erfolgt nur im unteren und mittleren Bereich des Estrichquerschnittes. Aufgrund des Feuchtegefälles im Estrich, der nur über die Oberfläche austrocknen kann, wird damit der feuchtere Bereich erfasst. Das bedeutet, dass der Estrich bei dieser Art der Probenentnahme länger austrocknen muss, um so die Grenzwerte zu unterschreiten. Damit wird die erhöhte Feuchteempfindlichkeit von Parkett berücksichtigt.

2.3 Ansatz für eine neue Bewertung

Gemäß Rieche [4] können folgende Vorgänge zu Schäden an Bodenbelägen führen, wenn die Belegreife nicht erreicht ist:

- Unzulässiges Schwinden mit der Folge von Verwölbungen und Rissbildungen.
- Quellen der Kleberschicht und/oder der Spachtelschicht mit der Folge von Blasenbildung/Ablösungen des Bodenbelags.
- Erweichen des Estrichs, Festigkeitsverlust.
- Unzulässige Wasseraufnahme des Bodenbelages mit der Folge von Quellen, Schwinden und Rissbildung.
- Osmotische Blasenbildung oder Quellen von Kunststoffbeschichtungen als Oberboden.

All diese Schädigungsmechanismen gehen zurück auf eine zu hohe relative Luftfeuchte ϕ_i im Innern des Estrichs. Deshalb ist es erstrebenswert, die relative Luftfeuchte im Estrich direkt zu messen und nicht über eine Ersatzgröße, nämlich den Wassergehalt, die Belegreife zu ermitteln.

Für eine solche Bewertung anhand der relativen Luftfeuchte im Innern des Estrichs fehlen aber momentan noch die Grenzwerte für die Belegreife. In der aktuellen Veröffentlichung von Rieche und Ziegler [5] werden Vorschläge für die Ermittlung und Festlegung solcher Grenzwerte angegeben.

2.4 Hygrometrische Feuchtemessung

Bei der hygrometrischen Feuchtemessung (auch Luftfeuchteausgleichsverfahren genannt) wird die relative Luftfeuchte im oder am Baustoff gemessen. Hierzu muss sich die Luftfeuchte in einer Messkammer mit der Baustofffeuchte im Gleichgewicht befinden. Wurde die relative Luftfeuchte im Baustoff gemessen und liegt eine Sorptionsisotherme für diesen Baustoff vor, kann darüber der Wassergehalt des gemessenen Baustoffes ermittelt werden.

1. Messung am Baustoff

Bei der Messung der relativen Luftfeuchte am Baustoff, beispielsweise an der Oberfläche eines Estrichs, wird eine Messkammer auf den Baustoff aufgesetzt. Die Oberfläche des Baustoffes dient als letzte abschließende Wandung der Messkammer, über die der Ausgleich der Luftfeuchte in der Messkammer mit der Luftfeuchte im Baustoff stattfindet. In dieser Messkammer ist der Messfühler angebracht, mit dem die relative Luftfeuchte gemessen wird. Eine Weiterentwicklung dieser Messmethode wird im Institut für Bautenschutz bereits erfolgreich angewendet (Folie-Datenlogger-Methode, Abschnitt 5.1).

2. Messung im Baustoff

Bei der Messung im Baustoff wird in das zu prüfende Bauteil ein Loch gebohrt. In diesem Bohrloch entsteht ein Feuchtegleichgewicht mit den umgebenden Bereichen des Baustoffes (Bohrlochwandungen). In dieses Bohrloch wird ein Feuchtefühler eingebracht, das Bohrloch wird abgedichtet und es wird gewartet bis sich ein Feuchtegleichgewicht einstellt. Somit wird die relative Luftfeuchte im Baustoff gemessen. Durch Messung in verschiedenen Tiefen kann auch ein Feuchteprofil über den Estrich- oder Betonquerschnitt gemessen werden. Dies wurde von Bluhm [6] erfolgreich getestet.

3. Neue Forschungsarbeiten im Institut für Bautenschutz

3.1 Optimierung des Messverfahrens

Erste Untersuchungen im Institut für Bautenschutz wurden von Bluhm [6] durchgeführt. Bluhm untersuchte die Anwendbarkeit dieses Messverfahrens in Zementestrichproben.

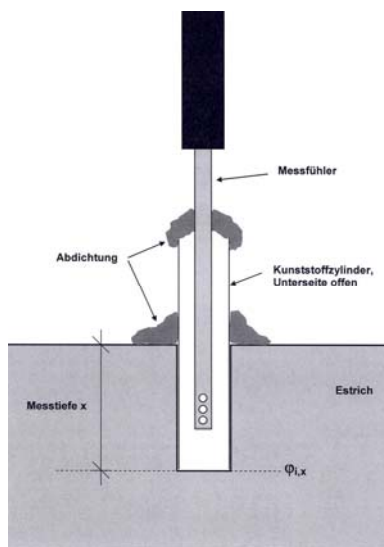


Abb.3: Messanordnung für die Hygrometrische Feuchtemessung im Bohrloch nach Bluhm [6].

Bei den Messungen der relativen Luftfeuchte im Bohrloch konnte gezeigt werden, dass die relative Luftfeuchte im Baustoff $\varphi_{i,x}$ in der Tiefe x im Bohrloch gemessen werden konnte. Die Abbildung 3 zeigt die prinzipielle Messanordnung von Bluhm, die bei den damaligen Untersuchungen die besten Messergebnisse lieferte. Die Messergebnisse der relativen Luftfeuchte wurden von Bluhm über die Ermittlung des Wassergehaltes verifiziert, indem Darrprüfungen durchgeführt wurden und die Ergebnisse anhand einer materialspezifischen Sorptionsisotherme verglichen wurden.

Vielfach wurde diese Methode dann im Institut für Bautenschutz weiterentwickelt, z. B. über die Veränderung der Bohrlochdurchmesser und der Kunststoffzylinder, die Art der Abdichtung, die Verlängerung von Wartezeiten nach dem Bohren und natürlich die Verwendung unterschiedlicher Feuchtefühler.

Einer der größten Problempunkte bei der Messung in der Praxis war stets die Frage, wann der Wert der relativen Luftfeuchte im Bohrloch als konstant gelten kann, d. h. wann die Ausgleichsfeuchte zum Baustoff im Bohrloch erreicht ist. Je nach Art und Weise des Messverfahrens variierten die Zeiten von 0,5 Stunden bis 24 Stunden. Eine weitere Problematik stellte die Auswahl der Messgeräte dar. Manche Feuchtefühler brachten nicht nachvollziehbare Ergebnisse mit sich, z. B. ständig ansteigende Luftfeuchte im Bohrloch bis zu unrealistisch erscheinenden Werten.

Erst mit dem Einsatz von Datenloggern mit eingebauten Messsensoren (Sensor-Logger) und Langzeitaufnahmen im Baustoff konnte ein Gefühl für den zeitlichen Verlauf der relativen Feuchte im Bohrloch entwickelt werden. Die Anfänge hierzu machte Ziegler [7] mit der Aufzeichnung der relativen Luftfeuchte in Estrichproben (Einbau von Datenloggern in den Estrichmörtel). Hierbei entstanden Langzeitaufnahmen der relativen Luftfeuchte im Estrich über einen Zeitraum von ca. 110 Tagen (Abbildung 4).

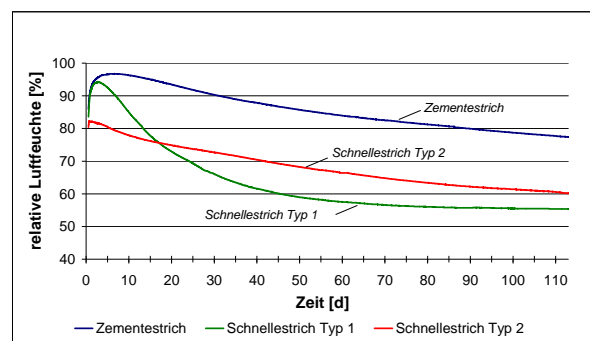


Abb.4: Austrocknungsverlauf der relativen Luftfeuchte φ_i in verschiedenen Estrichen bei einem Raumklima von 20°C / 50 % r. F.

Anhand dieser Abbildung wird deutlich, dass unter Umständen 5 bis 10 Tage gewartet werden müsste, bis die Luftfeuchte konstant ist. Diesen Zeitraum konnte Blatt [3] mittels einer Weiterentwicklung der Messung

im Bohrloch mit Datenlogger-Sensoren verkürzen. Die Abbildung 5 zeigt eine Skizze einer solchen nochmals optimierten Messanordnung. Aufgrund des verkleinerten Luftvolumens um den Sensor herum kann sich die zu messende relative Luftfeuchte $\varphi_{i,x}$ sehr schnell einstellen. Die Genauigkeit der Messsensoren beträgt für die relative Luftfeuchte $\pm 1,8\%$.

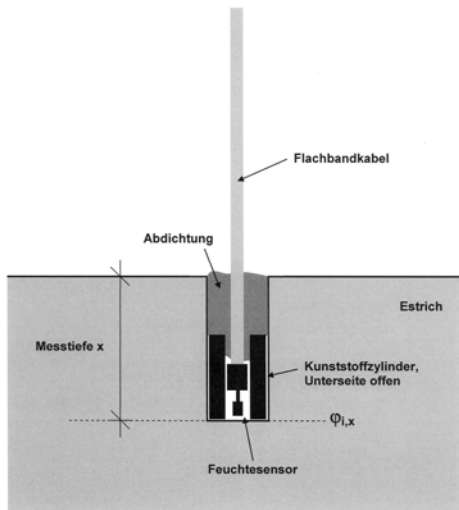


Abb.5: Hygrometrische Feuchtemessung mit Feuchtesensor in möglichst kleinem Luftvolumen. Der Feuchtesensor ist mit einem Datenlogger verbunden, der die Feuchtemessung aufzeichnet.

3.2 Überprüfung des Messverfahrens

Zur Überprüfung des zuvor beschriebenen Verfahrens von Blatt [3] wurden Estrich-Probekörper mit definierten Wassergehalten hergestellt. Vier Proben eines CA-Estrichs und vier Proben eines CT-Estrichs wurden direkt nach der Herstellung in vier verschiedene Klimakammern eingebracht und mehrere Monate bei folgenden konstanten Klimaten (ϑ_a , φ_a) bis zur Massenkonstanz gelangt:

- Klima 1: $23 \pm 0,5^\circ\text{C} / 66 \pm 2\%$ r. F.
- Klima 2: $23 \pm 0,5^\circ\text{C} / 76 \pm 2\%$ r. F.
- Klima 3: $23 \pm 0,5^\circ\text{C} / 86 \pm 2\%$ r. F.
- Klima 4: $23 \pm 0,5^\circ\text{C} / 97 \pm 3\%$ r. F.

Die Klimareinstellungen wurden mittels gesättigter Salzlösungen und Salzmischungen eingestellt. Das Klima ist von Datenloggern während der Lagerung aufgezeichnet worden. Der o. g. Schwankungsbereich ergab sich aus den entsprechenden Messkurven.

Da die Probekörper bis zur Massenkonstanz in den Klimaten eingelagert waren, hatte sich in den Probekörpern jeweils die Ausgleichsfeuchte zum entsprechenden Klima eingestellt. Das bedeutet, die relative Luftfeuchte φ_i in den Poren der Estrichproben war gleich der relativen Luftfeuchte der Umgebung φ_a . Die Probekörper wurden mit der Nummer 1 bis 4 entsprechend o. g. Klimaten sowie mit CT und CA für die jeweilige Estrichsorte bezeichnet.

In die Probekörper wurden Bohrlöcher (Durchmesser 14 mm, Tiefe 2,5 cm) eingebracht. Die Bohrlöcher ließ man 24 Stunden offen, bevor die Messung durchgeführt wurde. Vor jeder Messung wurde die Luft im Bohrloch mittels einer Luftpumpe ausgeblasen und somit zunächst mit der Raumluft des Labors (ca. $23^\circ\text{C} / 50\%$ r. F.) ausgetauscht. Anschließend wurde gemäß Abbildung 5 die relative Luftfeuchte φ_i im Bohrloch ermittelt. Die Datenlogger waren so programmiert worden, dass bereits vor Einbringen des Sensors die relative Luftfeuchte gemessen wurde. Damit konnte der Messvorgang vom Zeitpunkt des Einbringens des Sensors bis zum Erreichen einer konstanten Luftfeuchte im Bohrloch festgehalten werden. Weitere Messungen im selben Bohrloch waren zu späteren Zeitpunkten ebenfalls möglich, indem das Bohrloch vor jeder Messung mit der Luftpumpe ausgeblasen wurde. Während der Messzeit lagerten die Probekörper bei Raumklima (ca. $23^\circ\text{C} / 50\%$ r. F.). Dies führte zu einer geringfügigen Austrocknung der Probekörper während der Messzeit.

Die Abbildungen 6a bis 6d zeigen die Ergebnisse dieser hygrometrischen Feuchtemessungen.

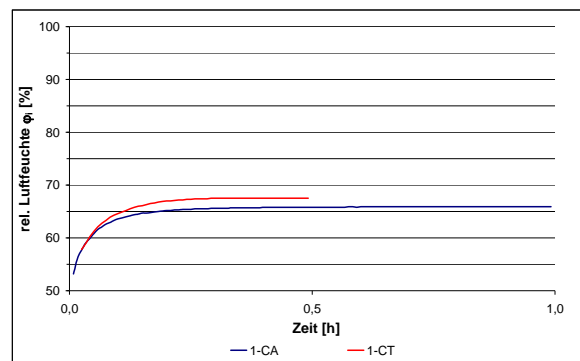


Abb.6a: Hygrometrische Feuchtemessung in den Probekörpern des Klimas 1 ($66 \pm 2\%$ r. F.) bis zum Endwert.

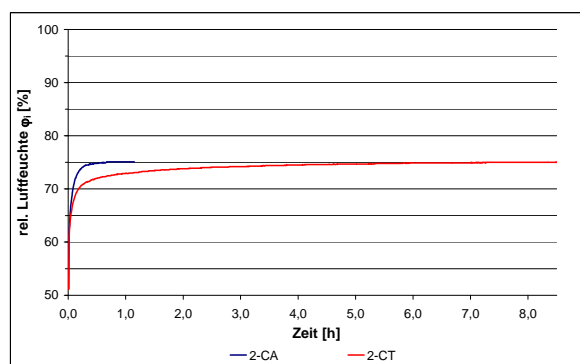


Abb.6b: Hygrometrische Feuchtemessung in den Probekörpern des Klimas 2 ($76 \pm 2\%$ r. F.) bis zum Endwert.

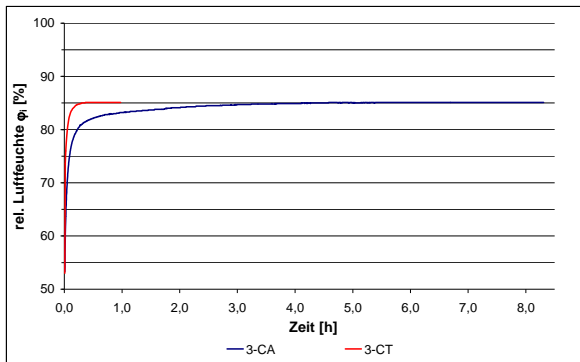


Abb.6c: Hygrometrische Feuchtemessung in den Probekörpern des Klimas 3 (86 ± 2 % r. F.) bis zum Endwert.

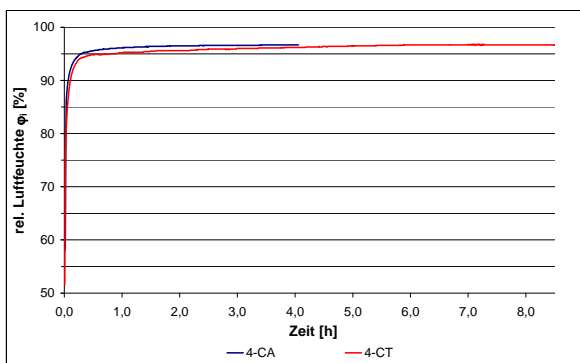


Abb.6d: Hygrometrische Feuchtemessung in den Probekörpern des Klimas 4 (97 ± 3 % r. F.) bis zum Endwert.

Betrachtet man alle acht Probekörper der vier Klimate, so stellt man fest, dass die Zeit bis zum Erreichen eines Endwertes der relativen Luftfeuchte φ_i im Estrich von 20 Minuten bis 14 Stunden betrug. Der Beweis dafür, dass tatsächlich ein Endwert erreicht war, zeigte sich darin, dass nach Erreichen des Endwertes die relative Luftfeuchte im Estrich sank (nicht in den Diagrammen dargestellt). Da die Probekörper während der Messzeit bei Raumklima (ca. 23°C / 50 % r. F.) lagerten, konnten diese eben auch dann austrocknen.

Bei allen Messergebnissen wurden Werte von φ_i nahe der Luftfeuchte φ_a der jeweiligen Klimakammer erzielt. Die Abweichungen lagen stets innerhalb der Genauigkeit der Messfühler ($\pm 1,8$ % r. F.).

3.3 Reproduzierbarkeit der Messungen

Während der Untersuchungen gemäß Abschnitt 4.2 wurden Messungen im selben Bohrloch wiederholt, um die Reproduzierbarkeit zu überprüfen. Dabei zeigte sich, dass stets die gleichen Endwerte der relativen Luftfeuchte erzielt werden konnten (Abweichungen ca. $\pm 0,2$ % r. F.). Allerdings variierte die Zeit bis zum Erreichen eines konstanten Wertes sehr stark. In Abbildung 7 sind zwei Messkurven dargestellt, die jeweils

eine Messung im selben Bohrloch zeigen. Die Zeit bis zum Erreichen eines konstanten Wertes variiert hier von ca. 3 Stunden bis ca. 14 Stunden.

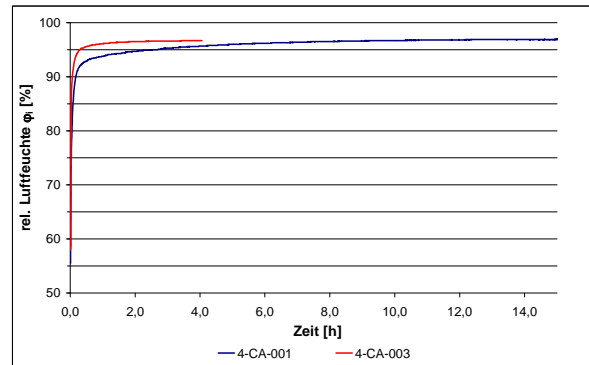


Abb.7: Zeitliche Unterschiede bis zum Erreichen einer konstanten relativen Luftfeuchte φ_i im Innern des Estrichs (Messung im selben Bohrloch).

Weitere Messungen im selben Bohrloch ergaben Zeiten, die innerhalb dieser Spanne lagen. Tendenziell waren bei niedrigeren Luftfeuchten im Estrich auch schneller die Endwerte erreicht (z. T. innerhalb von 20 Minuten). Warum diese Unterschiede entstehen, konnte aber bislang nicht geklärt werden. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich.

3.4 Überprüfung auf Temperaturabhängigkeit im Bohrloch

In der Fachwelt wird stets darauf abgehoben, die hygrometrische Feuchtemessung im Bohrloch sei temperaturabhängig und könne deshalb keine zuverlässigen Werte liefern. Gemäß [7] sind Sorptionsisothermen nur wenig temperaturabhängig. Die relative Luftfeuchte φ_i ist abhängig vom Wassergehalt des Baustoffes u_m . Der Wassergehalt ändert sich bei Temperaturschwankungen jedoch nicht. Deshalb müsste auch die Messung im Bohrloch mehr oder weniger temperaturunabhängig sein.

Um dies zu überprüfen, wurde bei laufender Messung im Bohrloch die Temperatur des Probekörpers variiert. Die Abbildung 8 zeigt den zeitlichen Verlauf der Messung. Die Messung wurde gestartet bei ca. 25°C und es wurde zunächst über einen Zeitraum von ca. sieben Stunden die Temperatur konstant gehalten. Die relative Luftfeuchte im Bohrloch hatte nach dieser Zeit einen konstanten Wert erreicht. Danach wurde der Probekörper auf ca. 7°C abgekühlt. Auch im Bohrloch hatte sich diese Temperatur mit etwas Verzögerung eingestellt. Im Gegensatz zur relativen Luftfeuchte des Außenklimas blieb jedoch die relative Luftfeuchte im Bohrloch nahezu konstant. Die Abweichung nach unten betrug ca. $2,5$ % r. F.. Der Probekörper wurde danach auf ca. 45°C erwärmt. Hierbei zeigte sich eine etwas höhere Temperaturabhängigkeit der relativen

Luftfeuchte im Bohrloch ϕ_i . Die Abweichung nach oben betrug ca. 3,5 %.

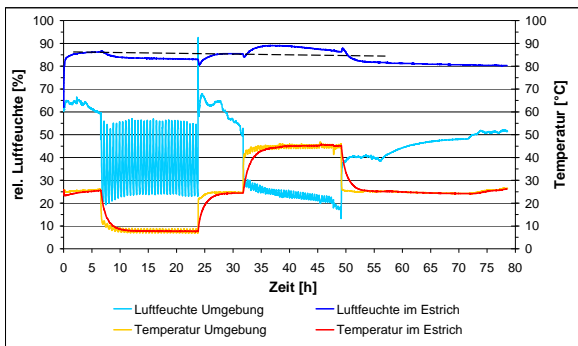


Abb.8: Aufzeichnung der relativen Luftfeuchte ϕ_i im Estrich bei Abkühlung und Erwärmung.

Die Untersuchungen zeigen, dass im Bohrloch genau gegenläufige Feuchteschwankungen auftreten, wie sie in einem Luftvolumen zu erwarten gewesen wären. Bei fallender Temperatur und gleich bleibendem absolutem Wassergehalt eines Luftvolumens steigt die relative Luftfeuchte im Luftvolumen an. Im Bohrloch hingegen sinkt sie leicht ab. Da warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann, sinkt die relative Luftfeuchte eines Luftvolumens bei steigender Temperatur und gleich bleibendem absolutem Wassergehalt. Im Bohrloch steigt die relative Luftfeuchte hingegen etwas an. Im Baustoff liegen also andere Verhältnisse vor, als in einem größeren abgeschlossenen Luftvolumen.

Im Ergebnis zeigen die Messungen, dass die relative Luftfeuchte ϕ_i im Bohrloch nur sehr wenig von der Temperatur des Estrichs abhängig ist. Die Abweichung von insgesamt 6 % über einen Temperaturbereich von 38 K ist sehr gering, muss aber ggf. bei der Festlegung von Grenzwerten berücksichtigt werden. Insbesondere, wenn aufgeheizte Estriche oder Estriche von Kühlläusern oder Estriche im Außenbereich gemessen werden.

3.5 Einfluss des Bohrvorganges

In der Fachwelt ist oft zu hören, dass das Bohren des Bohrloches für die hygrometrische Feuchtemessung großen Einfluss auf die nachfolgende Messung haben soll (Erhitzung, frei gesetzte Feuchtigkeit). Deshalb wird z. T. vorgeschlagen, die Messung erst 24 Stunden nach dem Einbringen des Bohrloches durchzuführen. Unsere Messungen gemäß Abschnitt 4.2 erfolgten auf diese Weise nach 24 Stunden.

Um zu prüfen, ob tatsächlich Einflüsse vorliegen, wurden bei einem CA-Estrich und einem CT-Estrich des Klimas 3 (86 ± 2 % r. F.) direkt nach dem Bohren die Messungen durchgeführt und mit den Messungen gemäß Abschnitt 4.2 verglichen. Beim CA-Estrich, bei dem der Bohrvorgang sehr schnell abgeschlossen war, zeigten sich keine Einflüsse, das Ergebnis war identisch. Beim CT-Estrich allerdings, bei dem der Bohrvorgang aufgrund der hohen Festigkeit intensiver war,

wurden die Messergebnisse verfälscht, trotz intensivem Ausblasen des Bohrloches. Die Abbildung 9 zeigt die Unterschiede zwischen Messung direkt nach dem Bohren und einer Messung in einem 24 h altem Bohrloch.

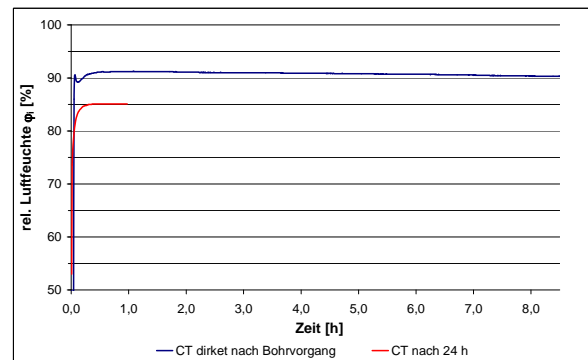


Abb.9: Einfluss des Bohrvorganges auf das Messergebnis bei einem CT-Estrich.

3.6 Messung von Feuchteprofilen

Dass die Messung von Feuchteprofilen mittels hygrometrischer Feuchtemessung möglich ist, hatte bereits Bluhm [6] bewiesen. In einer aktuellen Untersuchung im Institut für Bautenschutz wurde dies erneut bestätigt. Hierzu wurde eine CA-Estrich-Platte (Dicke 5 cm) über einem feuchten Klima (ca. 100 % r. F.) gelagert (kein direkter Kontakt, so dass kein Saugen stattfinden konnte). Die Seitenflächen waren abgedichtet. An der Oberseite der Platte lag Raumklima (ca. 50 % r. F.) vor. Mittels hygrometrischer Feuchtemessungen in drei verschiedenen Tiefen (1 cm, 2,5 cm, 4 cm) wurde das in Abbildung 10 dargestellte Feuchteprofil ermittelt.

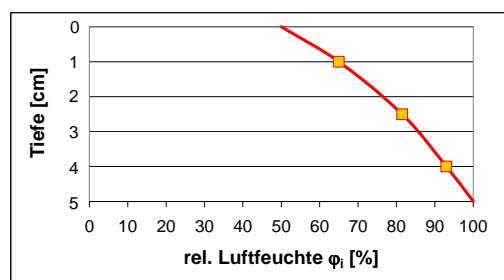


Abb.10: Feuchteprofil eines CA-Estrichs bei nachstoßender Feuchte aus dem Untergrund und Austrocknung über die Oberfläche.

Da die Messwerte konstant blieben, bedeutet dies, dass Feuchtigkeit über Diffusion von der Unterseite zur Oberseite transportiert wird (konstanter Diffusionsstrom). Mit dieser Messmethode lässt sich nachstoßende Feuchtigkeit aus dem Untergrund nachweisen (siehe auch Abschnitt 6.3).

4. Anwendungen in der Praxis

4.1 Folien-Datenlogger-Methode

Im Institut für Bautenschutz wird seit einigen Jahren bereits erfolgreich die Folie-Datenlogger-Methode angewendet, um Betonböden auf nachstoßende Feuchtigkeit aus dem Untergrund zu überprüfen.

Bei dieser Messmethode wird im Prinzip die in Abschnitt 3.4 unter Ziffer 1. beschriebene "Messung am Baustoff" durchgeführt. Der Betonboden wird mit einer ca. 1 m² großen diffusionsdichten Folie abgedeckt, die Ränder luftdicht mit dem Boden verklebt. Unter der Folie ist ein Datenlogger installiert, welcher dann nach mehreren Tagen ausgelesen wird. Steigt die relative Luftfeuchte zwischen Betonboden und Folie gegen 100 % an, ist dies ein eindeutiges Zeichen für nachstoßende Feuchte aus dem Untergrund. Vergleichsmessungen an Geschossdecken, an denen nachstoßende Feuchte ausgeschlossen werden konnte, brachten Endwerte zwischen 50 % und 60 % r. F. hervor, die dann gedämpft den Schwankungen des Raumklimas folgten, oder die relative Feuchte nahm über lange Zeit gemessen ab, was eine Austrocknung bedeutete (analog zu Abb. 4).

4.2 Messung im Bohrloch

In Deutschland wird die Messung der relativen Luftfeuchte im Bohrloch wenig vorgenommen. In anderen Ländern (Skandinavien, Großbritannien, USA) wird die Messung der relativen Luftfeuchte jedoch häufig bei der Bewertung der Feuchtigkeit in Betonbauteilen und Betonböden angewendet. Als Beispiel hierfür sei die USA aufgeführt, hier existiert sogar eine Norm, die ASTM F2170 [8]. Die Norm regelt Messanweisungen wie z. B. die Genauigkeit der Messfühler, die Messtiefe, die Zeitdauer bis zum Erreichen eines Endwertes in der Messkammer (mind. 72 Stunden) oder die Anzahl von Messstellen für eine Messfläche. Einen Grenzwert nennt die ASTM F710 [9]. Für Betonböden, die mit elastischen Bodenbelägen belegt werden sollen, beträgt der Grenzwert der relativen Luftfeuchte gemäß dieser Norm 75 %.

5. Ausblick

5.1 Belegreife von Estrichen – Grenzwerte für die hygrometrische Feuchtemessung im Bohrloch

Um das hygrometrische Messverfahren in der Praxis dafür einsetzen zu können, die Belegreife von Estrichen zu ermitteln, ist ein Umdenken bei der Ermittlung von Grenzwerten erforderlich. Nicht ein bestimmter Wassergehalt im Estrich führt zu Schäden am Oberboden, sondern eine zu hohe relative Luftfeuchte in der Grenze zwischen Estrich und Bodenbelag verursacht Schäden an Oberböden und nicht wasserbeständigen Klebern.

Damit ergibt sich nun der an die Hersteller von Oberböden und Klebstoffen gerichtete Wunsch, solche Grenzwerte anzugeben, ab welcher relativen Luftfeuchte ihre Produkte nicht mehr eingesetzt werden sollen. Liegen solche Grenzwerte für φ_{zul} vor, kann mittels der hygrometrischen Feuchtemessung im Bohrloch die Belegreife bestimmt werden (direkte Methode).

Eine andere Methode, um zu Grenzwerten zu gelangen, ist die indirekte Methode, die Rieche und Ziegler vorschlagen [5], solange noch keine Grenzwerte für die relative Luftfeuchte im Estrich direkt ermittelt wurden. Hierbei werden die bestehenden Grenzwerte (Wassergehalt in CM-%) über die Sorptionsisothermen der jeweiligen Ausgleichsfeuchte zugeordnet. Diese gilt dann als Grenzwert für die jeweilige Estrichart. Problematisch hierbei ist die große Streuung der Sorptionsisothermen für einen Baustoff. In der Bachelor-Thesis von Blatt [3] wird dies anhand verschiedener Typen von CA-Estrichen deutlich. Ein Vergleich von Sorptionsisothermen von CT-Estrichen aus der Literatur und aus Untersuchungen von Bischoff [10] macht deutlich, dass auch bei CT-Estrichen allein aufgrund der Zusammensetzung unterschiedliche Sorptionsisothermen bestehen können. Noch deutlicher wird dies bei Betrachtung der Sorptionseigenschaften von Schnellestrichen [7]. Deshalb kann diese indirekte Methode nur eine Übergangslösung sein, die erste Anhaltswerte für spätere, über die direkte Methode ermittelte Grenzwerte liefert.

5.2 Erarbeitung einer Messanweisung

Analog zu der in den USA verwendeten ASTM F2170 [8] muss in Deutschland eine Messanweisung für die hygrometrische Feuchtemessung erstellt werden (analog zur Messanweisung CM-Messung in [1, 2]). Unsere Erfahrungen und Untersuchungen zeigen, dass folgende Punkte beachtet werden müssen:

- Herstellen eines Bohrloches oder Einbringen einer Aussparung bei der Herstellung des Estrichs.
- Bei der Herstellung eines Bohrloches muss bei CT-Estrichen auf jeden Fall eine gewisse Zeit gewartet werden, bis der Messfühler eingebracht werden kann. Da hierfür noch Untersuchungen ausstehen, empfiehlt es sich, bei allen Estrichen das Bohrloch einen Tag vor der Messung einzubringen (sichere Seite).
- Die Messtiefe sollte im unteren Bereich des Estrichs liegen (sichere Seite, für Optimierungen siehe nachfolgende Ausführungen).
- Einbringen einer Messkapsel gemäß Abbildung 5 mit Sensor zur Aufzeichnung von Temperatur und relativer Luftfeuchte als Funktion der Zeit.
- Minimierung des Luftvolumens innerhalb der Messkapsel.
- Durchführung einer 24h-Aufzeichnung der Messwerte (relative Luftfeuchte und Temperatur).

- Auswertung und Überprüfung der Aufzeichnung mit Angabe des Endwertes der relativen Luftfeuchte.
- Anwendung eines Korrekturfaktors für den Grenzwert aufgrund der Estrichtemperatur.

Einfluss der Messtiefe

Optimierungsbedarf gibt es noch in der Festlegung der Messtiefe für die Bestimmung der relativen Luftfeuchte im Estrich. Aufgrund der Feuchteprofile in einem über die Oberfläche austrocknenden Estrich lässt sich derzeit nicht exakt sagen, in welcher Tiefe die Grenzwerte für die relative Luftfeuchte φ_{zul} unterschritten werden müssen. Lehnt man sich an die amerikanische Norm an [8], so wäre eine Messtiefe von 40 % der Dicke bei einem einseitig austrocknenden Bauteil ausreichend (z. B. 2 cm Tiefe bei einem 5 cm dicken Estrich). Erklärt wird diese Festlegung anhand des Feuchteausgleiches des Estrichs nach dem Belegen mit einem wenig wasserdampfdurchlässigen Bodenbelag. Die Abbildung 11 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

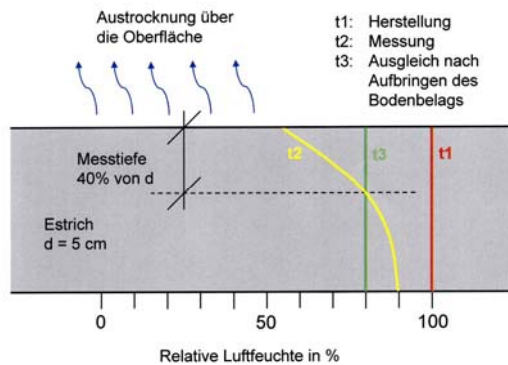


Abb.11: Schematische Darstellung des Feuchteprofils eines Estriches zu drei verschiedenen Zeitpunkten nach Vorstellung der amerikanischen Normung [10, 11].

Der Zeitpunkt t1 gibt die Luftfeuchte von 100 % über den gesamten Querschnitt bei der Herstellung an. Zum Zeitpunkt t2 ist das dargestellte Feuchteprofil im Estrich vorhanden, wenn der Estrich über die Oberfläche austrocknen kann. Wird in 40 % der Tiefe ein Wert des Feuchteprofils abgegriffen (z. B. 80 %), so soll dieser Wert auch dann vorliegen, wenn der Estrich dampfdicht belegt werden würde und sich das Feuchteprofil dadurch auflöst, dass sich die Feuchtigkeit innerhalb des Querschnittes des Estrichs ausgleicht (Zeitpunkt t3). Nach Auflösung des Feuchteprofils liegt dann im gesamten Estrichquerschnitt ein Wert von 80 % r. F. vor.

Auf der sicheren Seite liegt man, wenn an der tiefsten Messstelle die Luftfeuchte kleiner φ_{zul} ist (z. B. 4,5 cm bei einem 5 cm dicken Estrich), dann ist natürlich bei allen Messstellen oberhalb dieser Messstelle die Luftfeuchte auch kleiner φ_{zul} bei einem über die Oberfläche austrocknenden Estrich. Unter Umständen kann es aber

sehr lange dauern, bis auch in dieser Tiefe die Grenzwerte unterschritten sind. Möglicherweise hätte der Estrich dann aber bereits deutlich früher belegt werden können, ohne dass die Messung dies wiedergibt.

Im Institut für Bautenschutz läuft momentan eine breit angelegte simulationsgestützte Untersuchung des oben beschriebenen Zusammenhangs. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden zeigen, in welcher Messtiefe gemessen werden muss, um den späteren Wert der Ausgleichsfeuchte im Feuchteprofil abzugreifen.

5.3 Überprüfung auf nachstoßende Feuchte aus dem Untergrund mittels hygrometrischer Feuchtemessung im Bohrloch

Analog zu der in Abschnitt 5.1 beschriebenen Folien-Datenlogger-Methode können Unterböden auch mit der hygrometrischen Feuchtemessung im Bohrloch auf nachstoßende Feuchte überprüft werden. Mit den Messfühlern in Verbindung mit Datenloggern kann auch hier eine Langzeitmessung erfolgen. Im Vergleich zur Folien-Datenlogger-Methode liegt die Messdauer hier aber deutlich niedriger. Bei der Messung müssen Feuchteprofile gemessen werden (analog zu Abschnitt 4.6), die dann folgende Beurteilung zulassen:

- Trocknet der Unterboden aus, so ändert sich das Feuchteprofil dahingehend, dass die relative Luftfeuchte im unteren Bereich sich dem oberen (trockeneren) Bereich angleicht.
- Bleiben die Feuchteprofile konstant, bedeutet dies, dass Feuchtigkeit aus dem Untergrund nachstößt und vom Untergrund in den Raum abgegeben wird.
- Gleicht sich der obere Bereich dem unteren (feuchteren) Bereich an, liegt eine Auffeuchtung des Unterbodens vor.
- Folgt die relative Luftfeuchte über dem gesamten Querschnitt gedämpft dem Raumklima, so weist der Unterboden seine Ausgleichsfeuchte zum Raumklima auf.

5.4 Überprüfung feuchter Betonbauteile

Für das Aufbringen von gipshaltigen Innenputzen auf Betonflächen muss gemäß DIN 18550 der Feuchtegehalt von 3 Masse-% in den oberflächennahen 3 cm eingehalten werden (Grenzwert also $\leq 3,4$ Masse-%). Betrachtet man die Sorptionsisotherme von Beton (Abbildung 2), so korrelieren diese 3,4 Masse-% mit 90 % relativer Luftfeuchte. Dies bedeutet im übertragenen Sinne, dass in einer Tiefe von 3 cm die relative Luftfeuchte φ_i im Beton ≤ 90 % betragen muss, damit die Anforderung erfüllt ist.

Eine solche Überprüfung mittels der hygrometrischen Feuchtemessung gemäß Abbildung 5 führt auf der Baustelle zu schnellen Ergebnissen. Zudem ist das Messverfahren als zerstörungsarm anzusehen im Vergleich zur Entnahme von Darrproben.

Literatur

- [1] Informationsdienst Flächenheizung: Schnittstellenkoordination bei beheizten Fußbodenkonstruktionen, Ausgabe Februar 2005, Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e. V., Hagen
- [2] BEB-Merkblatt: CM-Messung, Ausgabe Januar 2007, Bundesverband Estrich und Belag e. V., Troisdorf
- [3] C. Blatt: Untersuchungen zur Belegreife von Calciumsulfatestrichen unter besonderer Berücksichtigung der Austrocknung und Erhärtung, Bachelor-Thesis Hochschule für Technik, Stuttgart 2010
- [4] G. Rieche: Bewertung der Belegreife von Estrichen mit hygrometrischen Verfahren, Estrich-Technik & Fußbodenbau 24 (2008) Heft 143, Seiten 10-15
- [5] G. Rieche, D. Ziegler: Belegreife von Estrichen – Grenzwerte für die hygrometrische Feuchtemessung, 7. Internationales Kolloquium Industrieböden 2010, Technische Akademie Esslingen
- [6] S. Bluhm: Entwicklung und Untersuchung einer Methode für die hygrometrische Bestimmung der Feuchte in Zementestrichen, Diplomarbeit Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart 2002
- [7] D. Ziegler: Untersuchungen zur Austrocknung und zum Schwinden von Schnellestrichen im Hinblick auf die Belegreife, Diplomarbeit Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart 2007
- [8] ASTM F2170 – 09: Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes
- [9] ASTM F710 – 08: Practice for Preparing Concrete Floors to Receive Resilient Flooring.
- [10] U. Bischoff: Bestimmung von Sorptionsisothermen von Baustoffen; Diplomarbeit Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart 1994
- [11] Hohmann, Setzer, Wehling: Bauphysikalische Formeln und Tabellen, 4. Auflage, Werner-Verlag, Darmstadt 2004