

Schriftenreihe

Heft 85/2008

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

Prof. Dr.-Ing. Günter Rieche

Bewertung der Belegreife von Estrichen mit hygrometrischen Verfahren

Veröffentlicht in der Fachzeitschrift

EstrichTechnik & Fußbodenbau 24 (2008)

Heft 143, Seiten 10 - 15

Bewertung der Belegreife von Estrichen mit hygrometrischen Verfahren

Günter Rieche, Fellbach

1. Grundlagen, Wassergehalt der Luft

Mit einer hygrometrischen Messung bestimmt man die relative Luftfeuchtigkeit φ . Die relative Luftfeuchtigkeit φ wiederum bestimmt im Gleichgewichtszustand den Wassergehalt u eines Baustoffes, welcher von der Luft umhüllt wird. Auch im Innern des Baustoffes stellt sich in luftgefüllten Hohlräumen eine relative Luftfeuchtigkeit φ_i ein, welche durch den Wassergehalt u des Baustoffes bestimmt wird. Zum Verständnis der Zusammenhänge und zur Verhinderung von Missverständnissen sind zunächst die nachfolgenden grundlegenden Ausführungen erforderlich.

Von der relativen Luftfeuchtigkeit φ ist der absolute Wassergehalt c der Luft zu unterscheiden, welcher in g/m^3 angegeben wird. Die Luft hat ein begrenztes Aufnahmevermögen für Wasserdampf. Wenn die Luft an Wasserdampf gesättigt ist, so spricht man von der Wasserdampfsättigungskonzentration c_s der Luft. Dieser ordnet man auch die relative Luftfeuchte $\varphi = 100 \%$ oder die Aktivität des Wasser $a_w = 1,0$ zu. Die Sättigungsfuchte c_s der Luft ist von der Temperatur abhängig und wird durch das sog. Carrier Diagramm beschrieben. Ist der Wassergehalt c der Luft kleiner als die Sättigungsfuchte, so ergibt sich die relative Luftfeuchte wie folgt (Gleichung 1):

$$\varphi = \frac{c}{c_s} = \frac{p}{p_s} = a_w \quad (1)$$

- φ : relative Luftfeuchte in %
- c : Wassergehalt der Luft in g/m^3
- c_s : Wasserdampfsättigungskonzentration der Luft in g/m^3
- p : Wasserdampfpartialdruck in Pa
- p_s : Sättigungspartialdampfdruck in Pa
- a_w : Aktivität des Wassers [-]

In der Physik gibt man den Wassergehalt der Luft auch als den Partialdruck des Wasserdampfes p in der Luft an. Bei gesättigter Luft spricht man dann von dem

Sättigungspartialdampfdruck des Wasserdampfes, auch Sattdampfdruck genannt.

Das Verhältnis der Wasserdampfkonzentration in der Luft zu der Sättigungskonzentration stellt ein Maß für die Intensität der Einwirkung der wasserhaltigen Luft auf die von dieser Luft berührten Baustoffe und Bauteile dar. Deshalb bezeichnet man dieses Verhältnis auch als die Aktivität des Wassers mit der Bezeichnung a_w (Gleichung 1). Die Aktivität des Wassers a_w mit ihrem Wertebereich von 0 bis 1,0 ist also die kennzeichnende Größe für die Wirkung der wasserdampfhaltigen Luft auf die Baustoffe.

Für die hier maßgeblichen Betrachtungen kann Luft in physikalischem Sinne als „ideales Gas“ angesehen werden. Zwischen Partialdruck und Partialkonzentration des Wasserdampfes gilt dann die folgende Beziehung (Gleichung 2):

$$p = c \cdot R_{H_2O} \cdot T \quad (2)$$

R_{H_2O} : spezifische Gaskonstante für Wasserdampf = 426 J/(kg·K)

T : absolute Temperatur in K

Die Sättigungskonzentration c_s für Wasserdampf in Luft beträgt 17,3 g/m³ bei 20° C. Der Sattdampfdruck p_s des Wasserdampfes beträgt 2340 Pa bei 20° C. Bei einem Luftdruck von 1 bar = 100 000 Pa beträgt also der Wasserdampfpartialdruck ca. 2,3 % des Gesamtluftdruckes. Auch ein hoher Wasserdampfpartialdruck führt also nicht zu einem Gesamtdruck von über 1 bar. Deshalb kann der Wasserdampfpartialdruck bei üblichen Temperaturen von kleiner 100°C und Atmosphärendruck auch nicht zum Abdrücken von wasserdampfdichten Schichten von ihrem Untergrund führen.

Wegen der Temperaturabhängigkeit der Sättigungskonzentration c_s ergeben sich für einen konstanten Wert c der Wasserdampfkonzentration unterschiedliche Werte für die relative Luftfeuchte φ , wenn man die Luft erwärmt oder abkühlt.

2. Sorption von Wasser in Baustoffen

Lagert man einen Baustoff in Luft mit relativer Luftfeuchte φ_a , so nimmt der Baustoff eine gewisse Wassermenge u durch Sorption in sein Inneres auf. Mit steigender relativer Luftfeuchte φ_a nimmt der Wassergehalt u des Baustoffs zu. Im Gleichgewichtszustand ergibt sich daraus die so genannte Sorptionsisotherme $u = f(\varphi_a)$ für den Baustoff bei der Temperatur ϑ_a (Bild 1). Diese Funktion beschreibt also den Wassergehalt des Baustoffes als Funktion der relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft. So besteht im Gleichgewichtszustand ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der äußeren relativen Luftfeuchte und dem durch Sorption entstehenden Wassergehalt u

und umgekehrt. Deshalb besteht derselbe Zusammenhang in umgekehrter Weise auch für die Luft in einem Hohlraum innerhalb des Baustoffes, dort ist die relative Luftfeuchte φ_i bestimmt durch den Wassergehalt u des Baustoffes: $\varphi_i = g(u)$. Obwohl man die Sorptionskurve eines Baustoffes bei konstanter Temperatur als Sorptionsisotherme ermittelt, ist der Einfluss der Temperatur auf den Verlauf der Sorptionsisotherme bei mineralischen Baustoffen relativ gering.

3. Messung der relativen Luftfeuchte φ_i

Wegen der vorher beschriebenen Zusammenhänge lässt sich der Feuchtigkeitszustand eines Baustoffes durch hygrometrische Verfahren erfassen [1,2]. Mehrere experimentelle Untersuchungen an Beton [3] und Laboruntersuchungen an Estrichproben [4,5] haben gezeigt, dass sich durch hygrometrische Feuchtigkeitsmessungen im Grundsatz die relative Luftfeuchte φ_i im Innern des Betons/Estrich in der Tiefe x ermitteln lässt, so dass Feuchtigkeitsprofile über den Querschnitt $\varphi_i(x)$ gemessen werden können. Es konnte ferner gezeigt werden, dass durch Messung von $\varphi_i(x)$ auch der Wassergehalt $u(x)$ bestimmt werden kann, wenn die Sorptionsisotherme des Baustoffes bekannt ist [5].

4. Schadensauslösende Vorgänge bei nicht belegreifen Estrichen

Alle unter Zugabe von Wasser hergestellten Estriche bedürfen einer mehr oder weniger langen Trocknung, ehe sie mit den verschiedenen Oberböden belegt werden dürfen, siehe z. B. [6]. Im Nutzungszustand kann die untere Grenze der relativen Luftfeuchte φ_a in der Umgebung des Estrichs mit 50 % relativer Feuchte angesetzt werden. Da sich Estriche auf der Raumseite von Wärmedämmungen befinden, ist die Obergrenze bei ca. 70 % r. F. anzusetzen. Langfristig werden sich die Estriche hinsichtlich ihres Wassergehaltes an das Nutzungsklima von $\varphi_a = 50\% - 60\%$ anpassen.

Die Belegreife definiert einen Wassergehalt u_{zul} bzw. φ_{zul} des Estrichs, der nach Aufbringen des Oberbodens nicht mehr zu Schäden am System Estrich/Oberboden führt.

Ist die Belegreife nicht erreicht, so können u. a. die folgenden Vorgänge zu Schäden führen

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

Alle diese Schädigungsmechanismen gehen zurück auf die Aktivität a_w der wasserdampfhaltigen Luft innerhalb der Poren des Estrichs und damit auf die relative Luftfeuchte φ_i im Innern des Estrichs. Daher liegt es nahe, die Belegreife des Estrichs je nach Estrich und Oberboden mittels eines maximalen Grenzwertes φ_{zul} zu beurteilen. Dazu müssen die schadensauslösenden Vorgänge für die verschiedenen Estriche, Oberböden sowie Spachtelschichten und Kleberschichten als Funktion von φ_i bzw. a_w erforscht werden.

5. Heutige Problematik

Hygrometrische Feuchtemessungen lassen sich im Grundsatz an allen mineralischen Baustoffen vornehmen [1,2], weil diese eine ausgeprägte Sorptionsisotherme zeigen. Im Vordergrund der Anwendung stehen die Zementbetone und Zementestriche [3,4,5].

Die momentan publizierten Erfahrungen mit hygrometrischen Feuchtemessverfahren an Estrichen beschränken sich auf Laboruntersuchungen an Zementestrichen [5]. Dabei gibt es noch eine Anzahl offener Fragen. Es gibt bei uns auch einzelne Anwendungen in der Praxis. Es fehlt aber die umfassende Messerfahrung in der Praxis.

Andererseits fehlen klar definierte und begründete Grenzwerte φ_{zul} für die verschiedenen Bauweisen aus Estrich plus Oberboden. Deshalb fehlt es an der Möglichkeit und Notwendigkeit, hygrometrische Feuchtemessungen in Estrichen bei der Herstellung von Estrichen vorzunehmen. Weil das so ist, kommt man auch nicht zu weiteren Erfahrungen hinsichtlich der hygrometrischen Feuchtemessung. Es ist aber notwendig, diesen Teufelskreis zu durchbrechen, weil den bisherigen Wegen zur Definition der Belegreife die wissenschaftliche und technische Basis fehlt. Das führt heute z. B. dazu, dass die unterschiedlichen Typen von Schnellestrichen sich einer nachvollziehbaren Festlegung der Belegreife entziehen, wenn man die Belegreife über den Wassergehalt u des Estrichs definieren will.

Aus den o. g. Gründen sind zwei Maßnahmen erforderlich:

1. Weiterentwicklung der Messsysteme und Messverfahren zur Bestimmung der hygrometrischen Feuchte $\varphi_i(x)$ in Estrichen
2. Erforschung der Fußbodenaufbauten im Hinblick auf eine nachvollziehbare Festlegung von φ_{zul} in Estrichen zur Bewertung der Belegreife.

6. Erste Vorschläge für φ_{zul}

Für die quantitative Festlegung von Grenzwerten φ_{zul} gibt es mehrere Möglichkeiten [5]:

- A. Empirische Festlegung: Dafür liegen momentan noch keine Erfahrungen vor.
- B. Umrechnung der bisherigen Grenzwerte u_{zul} in Grenzwerte φ_{zul} anhand der Sorptionsisothermen: Dabei tritt das Problem auf, dass die betroffenen Baustoffe eine große Bandbreite möglicher Sorptionsisothermen aufweisen, die auch von der Rohdichte bestimmt wird. Ein repräsentatives Spektrum solcher Sorptionsisothermen liegt derzeit nicht vor.
- C. Festlegungen entsprechend der Bauweise der Fußbodenkonstruktion: Dabei geht es um die Frage, welche Luftfeuchte φ_i in den Baustoffen des Estrichs/Betons die betroffene Bauweise mit ihrem Oberboden in ihrer Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigt.

Wenn man die Möglichkeit B betrachtet, so wird man feststellen, dass die zugehörigen Grenzwerte φ_{zul} in einem Bereich von:

$$65 \% < \varphi_{zul} < 80 \% - 85 \%$$

liegen. Die obere Bereichsgrenze entspricht damit der Ausgleichsfeuchte eines Baustoffes, der den so genannten „praktischen Wassergehalt“ aufweist [1, 2]. Weist ein Baustoff einen höheren Wassergehalt als den „praktischen Wassergehalt“ auf, so ist der Baustoff als feucht anzusehen. Neuerdings spricht man auch von dem Bezugsfeuchtegehalt, welcher mit der Ausgleichsfeuchte zu 80 % relativer Luftfeuchte (u_{80}) identisch ist. Deshalb sollte die obere Bereichsgrenze für φ_{zul} den Wert von 80 % nicht überschreiten. Somit ergibt sich daraus:

$$65 \% < \varphi_{zul} < 80 \%$$

In diesem Bereich sind also die zulässigen Grenzwerte für φ_{zul} festzulegen.

Für Zementestriche ergibt die Umrechnung aus der Sorptionsisotherme eine weitere Einschränkung für φ_{zul} . Dazu kann man eine für Zementestriche oft verwendete Sorptionsisotherme (Bild 1) zu Grunde legen. Näherungsweise entspricht der Wert der maximalen Estrichfeuchte von 2,0 CM-% einer Darrfeuchte von 3,5 Masse-%. Wendet man diese Beziehung auf die in dem „Merkblatt Schnittstellenkoordination“ [6] angegebenen Werte für die maximale Feuchte (1,8 CM-% bzw. 2,0 CM-%) an und benutzt die Sorptionsisotherme nach Bild 1, so ergeben sich die Werte der Tabelle in Bild 2 für φ_{zul} von 65 % r. L. bzw. 70 % r. L..

Technisch und physikalisch sinnvoll ist jedoch allein die Möglichkeit C. Für die Festlegung der Grenzwerte stehen allerdings entsprechende Forschungsergebnisse noch aus. Nach Erfahrungen des Autors sind die folgenden Festlegungen zu treffen:

- Für einen wasserbeständigen Estrich/Beton mit diffusionsdichten Oberböden/Beschichtungen (Kunststoffbeläge/Kunststoffbeschichtungen):
 $\varphi_{zul} = 75 \%$ [4, 5]
- Für einen Magnesiaestrich oder einen Calciumsulfatestrich unter Beschichtungen und Oberböden mit einem Diffusionswiderstand für Wasserdampf (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d) von größer 2 m:
 $\varphi_{zul} = 65 \%$
- Für Estriche/Betone mit Oberboden aus Parkett:
 $\varphi_{zul} = 55 \%$, entsprechend der Ausgleichsfeuchte von Holz $u_{55} = ca. 10 \text{ Masse\%}$

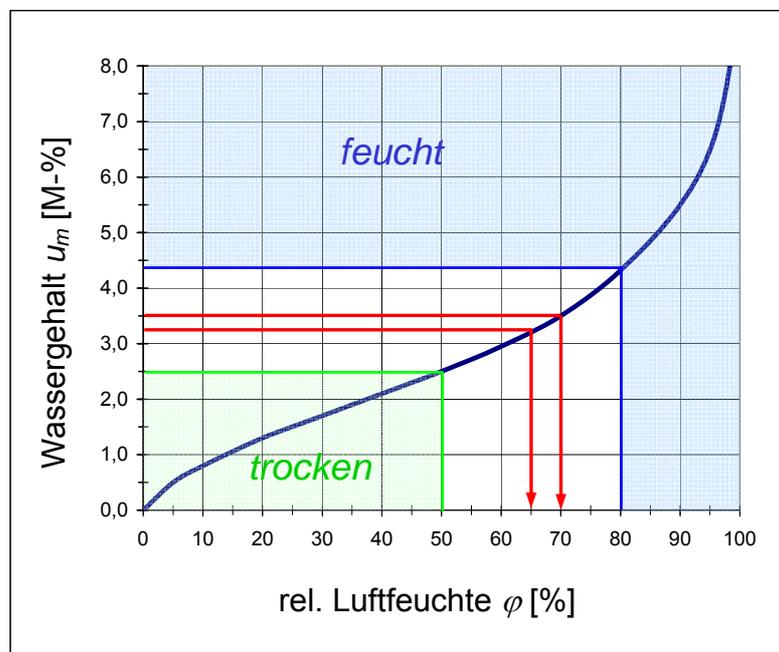


Bild 1: Sorptionsisotherme für Zementestriche mit Ermittlung von φ_{zul} über bisherige Grenzwerte für die Belegreife

	Oberboden	Zement-Estrich relative Luftfeuchte φ_{zul} in %
ObBo 1	Textile und elastische Beläge	65
ObBo 2	Parkett	65
ObBo 3	Laminatboden	65
ObBo 4	Keramische Fliesen bzw. Natur-/Betonwerksteine	70

Bild 2: Vorschläge für maximale Feuchte des Estrichs φ_{zul} entsprechend dem „Merkblatt Schnittstellenkoordination“ [6]

7. Zusammenfassung

Neben anderen Eigenschaften (Schwindverhalten, Sorptionsisotherme) bestimmt der Feuchtezustand von Estrichen (relative Luftfeuchte φ_i , Aktivität a_w) die Frage der Belegreife. Bislang werden zur Bestimmung des Wassergehalts bzw. des Feuchtezustandes von Estrichen die CM-Methode, die Darr-Methode und verschiedene elektrische Verfahren eingesetzt. Nach den anerkannten Regeln der Technik kommen die CM-Methode und die Darr-Methode zum Einsatz. Beide Verfahren haben das Ziel, das im Estrich gespeicherte Wasser quantitativ zu bestimmen.

Eine der Möglichkeiten zur Beurteilung des Feuchtezustandes von Estrichen besteht darin, nicht die Menge des im Estrich gespeicherten Wassers zu erfassen, sondern die damit im Gleichgewicht stehende relative Luftfeuchte φ_i innerhalb der Poren des Estrichs. Dieses Verfahren bezeichnet man als hygrometrische Feuchtemessung oder die Messung nach dem Luftfeuchteausgleichsverfahren. Die im Innern des Baustoffes befindliche relative Luftfeuchte φ_i und damit die Aktivität des Wassers a_w ist in der Lage, die Wirkung des Feuchtezustandes auf den Oberboden bzw. auf die in der Grenzfläche zum Estrich vorhandene Spachtelschicht und Kleberschicht zu beschreiben. Diese Wirkung der relativen Luftfeuchte φ_i ist nämlich nicht abhängig von der Sorptionsisotherme der verschiedenen Estriche, die sich durch Rezepturunterschiede oder Verarbeitungsunterschiede ergeben. Aus diesem Grunde wird hier vorgeschlagen, die Bewertung der Belegreife der Estriche hinsichtlich des Feuchtezustandes durch hygrometrische Feuchtemessung vorzunehmen. Erste Erfahrungen haben gezeigt, dass diese Messung als Funktion der Messtiefe x vorgenommen werden kann. Auf diese

Weise lässt sich der Feuchtezustand über den Querschnitt des Estrichs als Funktion $\varphi_i(x)$ erfassen und beurteilen.

Auf der Basis theoretischer Überlegungen werden hier erste Vorschläge für die Festlegung von Maximalwerten der relativen Luftfeuchte φ_{zul} im Estrich gemacht.

Es sind weitere Forschungsarbeiten zur Anwendbarkeit der hygrometrischen Feuchtemessung und praktische Anwendungen des Messverfahrens erforderlich, um einen besseren Kenntnisstand zu erhalten. Das soll zu einem gesicherten Stand der Technik und schließlich zu anerkannten Regeln der Technik führen.

8. Literatur

- [1] WTA-Merkblatt 4-11-02/D: Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen, München: WTA-Publications 2003

- [2] Rieche, G., u. a.: Sachstandsbericht zur Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2004

- [3] Jumme, P.: Moisture Control in Concrete II, 5. Internationales Kolloquium Industrieböden 2003, Technische Akademie Esslingen, S. 243 – 247

- [4] Rieche, G.: Neue Feuchtigkeitsprüfung und Beurteilung in Estrichen/Beton, 5. Internationales Kolloquium Industrieböden 2003, Technische Akademie Esslingen, S. 727 – 730

- [5] Rieche, G.: Neue Wege der Feuchtemessung und Beurteilung von Estrichen und Betonen – Anwendung des hygrometrischen Messverfahrens für die Messung und Festlegung von Grenzwerten der Baustofffeuchte zur Beurteilung der Belegreife, Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004) 794 – 797

- [6] Schnittstellenkoordination bei beheizten Fußbodenkonstruktionen (Merkblatt FBH-M1), Stand Februar 2005, Bundesverband Estrich und Belag e. V., Troisdorf