

Schriftenreihe

Heft 94/2011

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

Prof. Dr.-Ing. Günter Rieche

Dipl.-Ing. (FH) Dennis Ziegler

Belegreife von Estrichen – Grenzwerte für die Hygrometrische Feuchtemessung

Veröffentlicht in

7. Kolloquium Industrieböden 2010

TAE

Belegreife von Estrichen – Grenzwerte für die Hygrometrische Feuchtemessung

Prof. Dr.-Ing. Günter Rieche
Institut für Bautenschutz, Baustoffe und Bauphysik
Dr. Rieche und Dr. Schürger GmbH & Co. KG,
Fellbach, Deutschland

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

Zusammenfassung

Neue Bindemittelsysteme für Estriche führen immer wieder zu Verunsicherungen bei der Bewertung des Wassergehaltes der Estriche hinsichtlich der Belegreife. Die CM-Methode erlaubt vielfach keine Bewertung. Die Darr-Methode nimmt oft mehrere Tage in Anspruch und ist daher nicht baustellengerecht. Eine Alternative bietet die hygrometrische Feuchtemessung. Allerdings fehlen für diese Messung verbindliche Grenzwerte.

In dem vorliegenden Beitrag wird über Forschungsergebnisse an bestimmten Zementestrichen und Calciumsulfatestrichen hinsichtlich der hygrometrischen Feuchtemessung und des Sorptionsverhaltens der Estriche berichtet. Diese Ergebnisse erlauben und begründen die Festlegung von Grenzwerten der hygrometrischen Feuchte von Estrichen (relative Luftfeuchte in der Porenstruktur der Estriche) zur Bewertung der Belegreife.

In diesem Beitrag werden Vorschläge für diese Grenzwerte dargelegt.

1. Einleitung/Vorwort

Einer der maßgeblichen Aspekte der Belegreife von Estrichen ist die Estrichfeuchte. Das gilt für die mineralisch gebundenen Estriche, d. h. für Zementestriche (CT), Calciumsulfatestriche (CA), Magnesiaestriche (MA) sowie für Zementbeton. Diese Baustoffe weisen eine feinporige Porenstruktur auf, welche bei der Erhärtung gebildet wird, d. h. beim Übergang vom Estrichmörtel zum Estrich bzw. beim Übergang des Frischbetons zum Festbeton. Nach dem Erhärten weisen diese Baustoffe überschüssiges Wasser auf, welches sie durch Trocknung an die Umgebung (meist Raumluft) abgeben. Eine übermäßige Feuchte kann Schaden an Oberböden und Kunststoffbeschichtungen auslösen. Deshalb wird angestrebt, die Feuchte im Estrich durch Trocknung zu begrenzen.

Bislang bestimmt man den Wassergehalt in Masse-% und bedient sich dabei der Darr-Methode oder der CM-Methode [1]. Die Bewertung im Hinblick auf die Belegreife erfolgt dann anhand entsprechender Grenzwerte aus der Fachliteratur, z. B. anhand des "Merkblattes Schnittstellenkoordination" [2] oder anhand des BEB-Merkblattes "CM-Messung" [3]. Wie nachfolgend gezeigt wird, ist aber die Wechselwirkung des feuchten Estrichs oder Betons mit dem Oberboden physikalisch

nicht durch den massebezogenen Wassergehalt des Estrichs/Betons bestimmt sondern durch die relative Luftfeuchte in den Baustoffporen. Diese konnte man früher nicht in einfacher Weise messen. Deshalb hat man sich auch nicht um entsprechende Grenzwerte bemüht. In den vergangenen Jahren hat es nun eine Anzahl entsprechender Untersuchungen gegeben, durch hygrometrische Feuchtemessungen [1] der Frage der Messung der relativen Luftfeuchte in den Baustoffporen und deren Bewertung nachzugehen [4 - 8]. Für die Baupraxis ergibt sich nun die Notwendigkeit der Festlegung von Grenzwerten für die Feuchte in zu belegenden Estrichen oder Betonen, und zwar Grenzwerte für die relative Luftfeuchte in den Baustoffporen. Für die weiteren Ausführungen werden hier die Bezeichnungen des Merkblattes Schnittstellenkoordination [2] verwendet. Dort werden Bodenbeläge als "Oberböden" bezeichnet. Estriche und Betone werden im Folgenden als "Unterböden" bezeichnet.

2. Belegreife von mineralischen Estrichen und Beton

Die Belegreife des Unterbodens ist durch alle diejenigen Eigenschaften definiert, welche zur Erzielung eines dauerhaften Verbundkörpers aus Unterboden

plus Oberboden unter gebrauchstüblichen Beanspruchungen erforderlich sind.

Die Belegreife ist also durch ausreichende Werte der folgenden Eigenschaften bestimmt:

- Druckfestigkeit
- Biegezugfestigkeit
- Feuchte
- Schwinden (i. d. R. beim Austrocknen, also ebenfalls aufgrund der Eigenschaft Feuchte)

Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich mit den Aspekten der Feuchte des Unterbodens. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei zu hoher Feuchte im Estrich u. a. folgende Vorgänge zu Schäden führen können:

- Unzulässiges Schwinden des Estrichs mit der Folge von Verwölbungen und Rissbildungen
- Erweichen des Estrichs, Festigkeitsverlust
- Quellen der unterhalb des Oberbodens angeordneten Kleberschicht und/oder Spachtelschicht mit der Folge von Blasenbildungen oder Ablösungen des Oberbodens
- Unzulässige Wasseraufnahme des Oberbodens mit der Folge von Quellen, anschließendem Schwinden und Rissbildung
- Osmotische Blasenbildung oder unzulässiges Quellen von Kunststoffbeschichtungen als Oberboden (z. B. Kunststoffbeschichtungen auf Beton)

Für die Verhinderung dieser Schadensprozesse stellt sich die Frage, welcher feuchtebedingte Parameter die schädigende Wirkung der Estrichfeuchte auf den Oberboden darstellt und beschreibt.

3. Feuchtigkeit in feinporigen Baustoffen, Sorption

Mit einer hygrometrischen Feuchtemessung bestimmt man die relative Luftfeuchtigkeit φ . Die relative Luftfeuchtigkeit φ_a bestimmt im Gleichgewichtszustand den Wassergehalt u_m eines Baustoffes, welcher von der Luft umhüllt wird. Im Innern des Baustoffes stellt sich in luftgefüllten Hohlräumen eine relative Luftfeuchtigkeit φ_i ein, welche durch den Wassergehalt u_m des Baustoffes bestimmt wird. Diese wechselseitige Beziehungen zwischen φ_a , u_m und φ_i sind in Abbildung 1 dargestellt und werden beschrieben durch die Gleichungen:

$$u_m = f(\varphi_a) \quad (1)$$

$$\varphi_i = g(u_m) \quad (2)$$

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 Sättigungsfeuchte 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 Sättigungsfeuchte, so ergibt sich die relative Luftfeuchte wie folgt (Gleichung 3):

gungsfeuchte 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 Sättigungsfeuchte, so ergibt sich die relative Luftfeuchte wie folgt (Gleichung 3):

$$\varphi = \frac{c}{c_s} = \frac{p}{p_s} = a_w \quad (3)$$

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 [-]

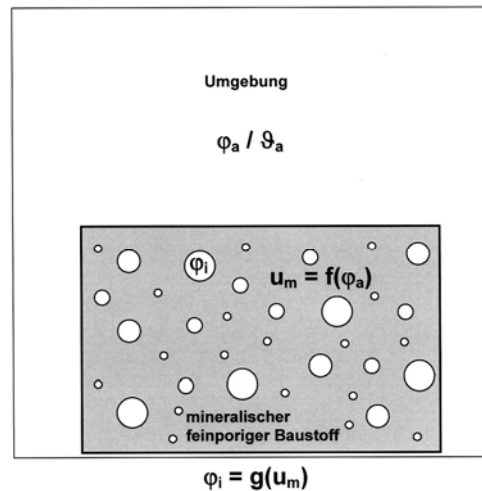


Abb.1: Wassergehalt u_m (Masse-%) des Baustoffes, relative Luftfeuchte φ_a der Umgebung und relative Luftfeuchte φ_i in einer Baustoffpore.

Den Wassergehalt der Luft gibt man auch als den Partialdruck des Wasserdampfes p in der Luft an. Bei gesättigter Luft spricht man dann von dem Sättigungspartialdampfdruck des Wasserdampfes, auch Satttdampfdruck 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 3). 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

on des Wasserdampfes gilt dann die folgende Beziehung (Gleichung 4):

$$p = c \cdot R_{H_2O} \cdot T \quad (4)$$

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 Satttdampfdruck p_s des Wasserdampfes beträgt 2340 Pa bei 20° C. Bei einem Luftdruck von 1 bar = 100 000 Pa beträgt also der Wasserdampfpartialdruck maximal 2,3 % des Gesamtluftdruckes.

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

Lagert man einen Baustoff in Luft mit relativer Luftfeuchte ϕ_a , so nimmt der Baustoff eine gewisse Wassermenge u_m durch Sorption in sein Inneres auf (Abbildung 1). Mit steigender relativer Luftfeuchte ϕ_a nimmt der Wassergehalt u_m des Baustoffs zu. Im Gleichgewichtszustand ergibt sich daraus die so genannte Sorptionsisotherme $u_m = f(\phi_a)$ für den Baustoff bei der Temperatur ϑ_a (Abbildung 2).

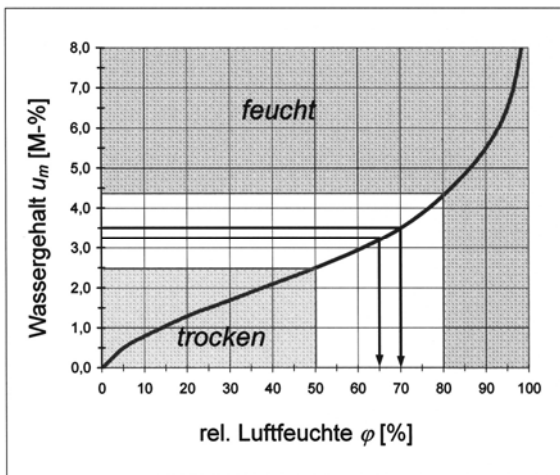


Abb.2: Sorptionsisotherme für Zementestriche.

Diese Funktion beschreibt also den Wassergehalt des Baustoffes als Funktion der relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft. So besteht im Gleichgewichtszustand ein Zusammenhang zwischen der äußeren relativen Luftfeuchte und dem durch Sorption entstehenden Wassergehalt u_m in einem feinporigen Baustoff und umgekehrt (Abbildung 1). Deshalb besteht derselbe Zusammenhang in umgekehrter Weise auch für die Luft in einem Hohlraum innerhalb des feinporigen Baustoffs, dort ist die relative Luftfeuchte ϕ_i bestimmt

durch den Wassergehalt u_m des Baustoffes: $\phi_i = g(u_m)$. 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.

4. Messung der relativen Luftfeuchte ϕ_i , hygrometrische Feuchtemessung

Wegen der vorher beschriebenen Zusammenhänge lässt sich der Feuchtigkeitszustand eines Baustoffes durch hygrometrische Verfahren erfassen [1, 4, 5]. Mehrere experimentelle Untersuchungen an Beton [9] und Laboruntersuchungen an Estrichproben [4, 6 - 8] 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 $\phi_i(x)$ gemessen werden können. Es konnte ferner gezeigt werden, dass durch Messung von $\phi_i(x)$ auch der Wassergehalt $u(x)$ bestimmt werden kann, wenn die Sorptionsisotherme des Baustoffes bekannt ist [5]. Neuere experimentelle Erfahrungen mit der hygrometrischen Feuchtemessung werden von Ziegler berichtet [10].

5. Wirkung der Estrichfeuchte auf den Verbundkörper Unterboden plus Oberboden

Der Estrich oder Beton (Unterboden) bildet zusammen mit dem Oberboden einen Verbundkörper, d. h. der Unterboden ist der Träger für den im Verbund aufgetragenen Oberboden.

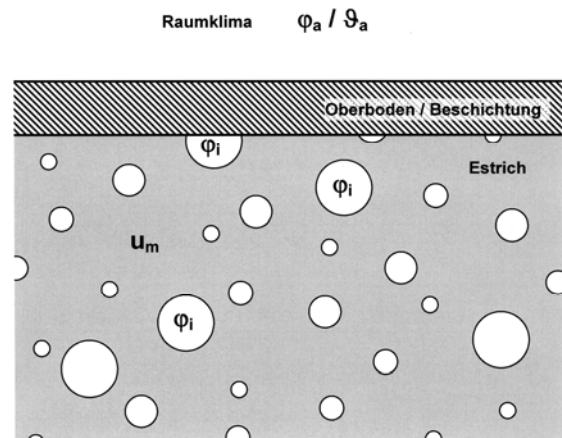


Abb.3: Verbundkörper aus Estrich plus Oberboden:
 ϕ_a = relative Luftfeuchte der Umgebung,
 u_m = Wassergehalt u_m (Masse-%) des Estrichs,
 ϕ_i relative Luftfeuchte in den Estrichporen.

Der Oberboden stellt einen mehr oder weniger großen Diffusionswiderstand für den Wasserdampf dar. Deshalb trennt der Oberboden den Estrich vom Raumklima ab (Abbildung 3), d. h. der Estrich weist eine andere

Feuchte φ_i auf als das Raumklima φ_a . Wegen des Diffusionswiderstandes des Oberbodens erfolgt eine zeitliche Veränderung von φ_i und eine Angleichung von φ_i an φ_a nur sehr langsam. Somit wirkt φ_i und damit die Aktivität des Wasser a_i langfristig auf die Unterseite des Oberbodens oder einer Kunststoffbeschichtung ein. Da φ_i im Regelfall größer ist als φ_a können daher von der Unterseite des Oberbodens her die Schadensformen auftreten, die zuvor aufgeführt wurden. Aus diesem Grunde soll durch Grenzwerte für die Belegreife der massebezogene Wassergehalt u_m bzw. φ_i und damit a_i begrenzt werden.

Hinsichtlich der Gefährdung des Oberbodens infolge der Feuchte des Unterbodens sind die Parameter φ_i und a_i die entsprechenden Größen. Demgegenüber erlaubt der massebezogene Wassergehalt u_m des Estrichs oder des Betons keine unmittelbare Bewertung. Erst wenn man die Sorptionsisotherme für die spezielle Estrichart oder den Beton kennt, ließe sich ermitteln, welches φ_i oder a_i ein bestimmter massebezogener Wassergehalt bedingt, und erst dann wäre eine Bewertung möglich. Aus diesem Grund wird z. B. in der so genannten "Instandsetzungsrichtlinie" [11] kein Grenzwert des massebezogenen Wassergehaltes u_m für den Beton angegeben, wenn dieser mit einem Oberflächenschutzsystem beschichtet wird; der Beton soll aber "ausreichend trocken" sein. Für Estriche haben sich bestimmte Werte der Estrichfeuchte in Masse-% bzw. CM-% "eingebürgert". Diese Werte führen jedoch zu unbefriedigenden Situationen, insbesondere bei Schnellestrichen und Estrichen mit Trocknungsbeschleunigern [3, 7], weil diese Werte nicht physikalisch begründet sind. Für herkömmliche Estriche (CT und CA) haben sich jedoch massebezogene Grenzwerte der Estrichfeuchte in der Vergangenheit bewährt. Sie können damit auch als Basis für die Festlegung von Grenzwerten von φ_i dienen, die dann als φ_{zul} bezeichnet werden.

6. Grenzwerte der Estrichfeuchte (φ_{zul})

6.1 Möglichkeiten für die Festlegung

Für die quantitative Festlegung von Grenzwerten φ_{zul} gibt es mehrere Möglichkeiten [5, 6]:

Empirische Festlegung

Hierfür liegen momentan noch keine Erfahrungen vor. Deshalb wird dieser Möglichkeit im Folgenden nicht weiter nachgegangen.

Direkte Methode

Festlegungen entsprechend der Bauweise der Fußbodenkonstruktion. Dabei geht es um die Frage, welche Luftfeuchte φ_i im Unterboden (Estrich/Beton) die betroffene Bauweise als Verbundkörper mit ihrem Oberboden in ihrer Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigt. Die Grenzwerte werden maßgeblich von der Art des Oberbodens und dessen Beständigkeit gegenüber φ_i bestimmt.

Indirekte Methode

Umrechnung der bisherigen Grenzwerte u_{zul} , welche in CM-% oder in Masse-% für die Unterböden (Estrich/Beton) vorliegen, 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 für alle Baustoffe, die als Unterboden verwendet werden, liegt derzeit nicht vor.

6.2 Direkte Methode

Technisch und physikalisch sinnvoll ist allein die Möglichkeit der direkten Methode.

Für die Festlegung der Grenzwerte stehen allerdings entsprechende Forschungsergebnisse noch aus. Nach Erfahrungen der Autoren sind die folgenden Festlegungen für bestimmte Verbundkörper aus Unter- plus Oberboden zutreffend:

- Für einen wasserbeständigen Zementestrich (CT) bzw. Zementbeton mit diffusionsdichten Oberböden / Beschichtungen (Kunststoffbeläge / Kunststoffbeschichtungen):

$$\varphi_{zul} = 75 \% [5]$$
- Für einen Magnesiaestrich (MA) oder einen Calciumsulfatestrich (CA) unter Beschichtungen und Oberböden mit einem Diffusionswiderstand für Wasserdampf (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d) von größer 2 m:

$$\varphi_{zul} = 65 \% [5]$$

Für Parkett ergeben sich die Grenzwerte aus theoretischen Überlegungen, die aus dem TKB-Merkblatt 1 [12] hergeleitet werden können.

Parkett ist einer der feuchteempfindlichsten Oberböden. Schon die Einbaufeuchte richtet sich nach dem späteren Raumklima während der Nutzung. Gemäß [12] ist mit einer mittleren relativen Luftfeuchte von $50 \% \pm 20 \%$ zu rechnen (Ausnahme Sonderbauwerke wie z. B. Kirchen). Dies entspricht auch den typischen Werten gemäß [13], nämlich für das Sommerhalbjahr zwischen 50% und 70% und im Winterhalbjahr zwischen 30% und 55% . Das bedeutet, dass Parkett gegen eine Raumluftfeuchtigkeit φ_a bis 70% beständig sein müsste. Betrachtet man die im TKB-Merkblatt 1 [12] genannten klimatischen Bedingungen der Raumluft für den Zeitpunkt des Klebens von Parkett, so bestätigt sich dies. Hier werden nämlich maximal 75% , vorzugsweise 65% genannt. Daraus resultiert, dass auch die relative Luftfeuchte im Estrich diese Werte zum Zeitpunkt des Belegens unterschritten haben muss. Damit ergibt sich für Parkett ein theoretischer Grenzwert von:

$$\varphi_{zul} = 65 \% \text{ bis } 75 \%$$

Auch für andere Oberböden und Zwischenschichten ergeben sich aus diversen TKB-Merkblättern [14] folgende theoretische Grenzwerte:

Dispersionsspachtelmassen: Verarbeitung bei maximal 75 % relativer Luftfeuchte, vorzugsweise 65 % (TKB-Merkblatt 9);

$$\varphi_{zul} = 65 \% - 75 \%$$

Elastomer-Bodenbeläge: Lagerung bei maximal 75 %, Verlegung vorzugsweise bei 40 % - 65 %, maximal 75 % (TKB-Merkblatt 3);

$$\varphi_{zul} = 65 \% - 75 \%$$

Linoleum-Bodenbeläge: Lagerung und Verlegung bei 40 % bis 65 % relativer Luftfeuchte (TKB-Merkblatt 4);

$$\varphi_{zul} = 65 \%$$

Kork-Bodenbeläge: Lagerung bei 50 % bis 75 %, Verlegung vorzugsweise 40 % bis 65 %, maximal 75 % (TKB-Merkblatt 5);

$$\varphi_{zul} = 65 \% - 75 \%$$

PVC-Bodenbeläge: Lagerung und Verlegung bei 40 % bis 65 % relativer Luftfeuchte, maximal 75 % (TKB-Merkblatt 7);

$$\varphi_{zul} = 65 \% - 75 \%$$

Laminatböden: Raumklima während der Vorlagerung und Verlegung: maximal 75 % relative Luftfeuchte (TKB-Merkblatt 2); Hierbei ist aber anzumerken, dass das TKB-Merkblatt 2 noch nicht in der Art aktualisiert wurde, wie die anderen Merkblätter. Bei vielen anderen Merkblättern hat sich die Lagerungs- und Verarbeitungs-Luftfeuchte von 75 % auf 65 % verringert. Dies könnte auch hier mit der nächsten Aktualisierung noch geschehen. Deshalb erachten wir auch hier eher eine Spanne für den Grenzwert von 65 % bis 75 % als sinnvoll;

$$\varphi_{zul} = 65 \% - 75 \%$$

Für alle anderen Oberböden müssen noch Grenzwerte aus theoretischen Überlegungen oder aus Erfahrungen gewonnen werden. Solche Erfahrungswerte müssten überwiegend von den Herstellern der verschiedenen Oberböden und Klebstoffe geliefert werden, da diese Baustoffe die Grenzwerte φ_{zul} bestimmen.

Aus den vorangegangenen Ausführungen bleibt festzuhalten, dass die übliche Spannweite für Grenzwerte für φ_{zul} **zwischen 65 % und 75 %** liegen muss.

6.3 Indirekte Methode

Bei dieser Methode werden die momentan als anerkannte Regel der Technik angesehenen Grenzwerte für u_m mittels Sorptionsisothermen in φ_i übertragen. Es folgen also aus Werten für u_{zul} die Werte für φ_{zul} . Wenn man diese Möglichkeit für die Festlegung von Grenzwerten betrachtet, so wird man feststellen, dass die zugehörigen Grenzwerte φ_{zul} in einem Bereich **zwischen 60 % und 80 %** relativer Luftfeuchte liegen. Die obere Bereichsgrenze entspricht der Ausgleichsfeuchte eines Baustoffes, der den so genannten "prakti-

schen Wassergehalt" aufweist [1, 13]. 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.

Die untere Bereichsgrenze ergibt sich folgendermaßen: Für Zementestriche (CT) ergibt die Umrechnung aus der Sorptionsisotherme folgende Einschränkung für φ_{zul} . Dazu kann man eine für Zementestriche oft verwendete Sorptionsisotherme (Abbildung 2) 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“ [2, 3] angegebenen Werte für die maximale Feuchte (1,8 CM-% bzw. 2,0 CM-%) an und benutzt die Sorptionsisotherme nach Abbildung 1, so ergeben sich die Werte für φ_{zul} von 65 % r. L. bzw. 70 % r. L..

In einer neueren Arbeit hat Blatt [8] experimentelle Untersuchungen zur Frage der Belegreife von Calciumsulfatestrichen (CA) durchgeführt. Für fünf handelsübliche Calciumsulfatfließestriche sind die Sorptionsisothermen ermittelt worden. Unter Anwendung der Anforderungen nach dem "Merkblatt Schnittstellenkoordination" und dem BEB-Merkblatt CM-Messung [2, 3] mit den Grenzwerten u_m :

0,5 CM-% (unbeheizt)

0,3 CM-% (beheizt)

ergaben sich gemäß den Sorptionsisothermen von Blatt [8] die folgenden zugehörigen Werte für φ_i

0,5 CM-% → 77 % r. L.

0,3 CM-% → 64 % r. L.

Blatt schlug vor, unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit, die Grenzwerte für φ_{zul} wie folgt festzulegen:

0,5 CM-% → 75 % r. L.

0,3 CM-% → 60 % r. L.

Problematisch bei dieser Methode ist die hohe Bandbreite von Sorptionsisothermen. Bei Betrachtung einer von Bischoff [15] experimentell ermittelten Sorptionsisotherme für Zementestriche zeigt sich, dass hier 3,3 M-% einer relativen Luftfeuchte $\varphi_i = 85 %$ entsprechen und für 3,5 M-% sind $\varphi_i = 90 %$ abzulesen. Die Werte überschreiten also die o. g. obere Bereichsgrenze. Dar- aus ergeben sich zwei Möglichkeiten:

- Für die Grenzwerte φ_{zul} können möglicherweise auch höhere relative Luftfeuchten als 80 % angesetzt werden.
- Der von Bischoff [15] untersuchte Zementestrich hätte möglicherweise auch bei Einhaltung der Grenzwerte u_m (3,3 M-% bzw. 3,5 M-%) zu Schäden geführt.

Dieses Beispiel zeigt, dass die bisher geltenden Grenzwerte keine physikalische Begründung haben, sondern

aus Langzeiterfahrungen resultieren und unter Umständen nicht für jede Baustoffzusammensetzung anwendbar sind.

6.4 Kunststoffbeschichtungen auf Zementbeton

Aus [5] und [16] hat sich der oben bereits erwähnte Vorschlag von $\varphi_{zul} = 75\%$ ergeben als Grenzwert für einen Verbundkörper aus Zementbeton plus Kunststoffbeschichtungen. Dieser Grenzwert liegt über den beschriebenen Grenzwerten für Zementestriche unter Oberböden im Sinne des "Merkblattes Schnittstellenkoordination". Er gilt in erster Linie für die Anwendung von Reaktionsharzen für Beschichtungen auf Beton. Diese weisen eine höhere Wasserbeständigkeit auf als die üblichen o. g. Oberböden bzw. die Verbundkörper aus Zementestrich plus Oberböden. Dieser Grenzwert erscheint auch für die Anwendung im Freien geeignet, auch für Oberflächenschutzsysteme, welche nicht aus Reaktionsharzen bestehen. Dieser Wert kann also ein Grenzwert für die Anwendung im Bereich der Instandsetzungsrichtlinie [11] sein.

Möglicherweise wären für feuchtigkeitsunempfindliche Reaktionsharze (Epoxidharze) sogar noch höhere Grenzwerte möglich. Gemäß dem TKB-Merkblatt 8 [17] besteht bei Zementestrichen die Möglichkeit, ab einem Wassergehalt u_m von 5,0 CM-% eine diffusionshemmende Grundierung aus Reaktionsharzen (entspricht einer Kunststoffbeschichtung mit geringer Schichtdicke) aufzubringen. Diese Bauweise (Absperren des Estrichs) wird in der Praxis seit einigen Jahren häufig und erfolgreich ausgeführt. Dieser Grenzwert von 5,0 CM-% entspricht ca. 6,5 M-%. Über die Sorptionsisotherme in Abbildung 2 ergibt sich daraus die relative Luftfeuchte φ_i von 95 %. Auch bei Herstellern von Fußbodenbeschichtungen kursieren Werte zwischen 4 % und 6 % (teilweise keine Angabe darüber, ob CM-% oder M-%). Dies alles spricht dafür, dass bei feuchtigkeitsunempfindlichen Reaktionsharzen auf feuchtigkeitsbeständigen Unterböden der Grenzwert φ_{zul} deutlich größer als 75 % sein kann. Entsprechende Untersuchungen müssen hier Gewissheit bringen.

6.5 Vorläufige Anwendung und Ausblick

Nach unserem momentanen Kenntnisstand plädieren wir dafür, zunächst die indirekte Methode dazu zu verwenden, vorläufige Grenzwerte festzuschreiben. Um auf der sicheren Seite zu liegen, schlagen wir vor, jeweils die unterste Grenze der Werte für φ_{zul} anzusetzen. Damit ergeben sich die in den Tabellen der Abbildungen 4 und 5 aufgeführten Grenzwerte für CT- und CA-Estriche in Abhängigkeit der Art des Oberbodens in Anlehnung an das "Merkblatt Schnittstellenkoordination" [2].

Weitergehende Untersuchungen (empirische Untersuchungen) müssen dann zeigen, ob auch höhere Grenz-

werte erlaubt werden können. Dazu wäre jedoch die Auswertung einer Vielzahl von Sorptionsisothermen verschiedener Estrichsorten erforderlich.

Oberboden auf Zementestrichen		Grenzwert rel. Luftfeuchte φ_{zul} in %	
		beheizt	nicht beheizt
ObBo 1	Textile und elastische Beläge	65	70
ObBo 2	Parkett	65	70
ObBo 3	Laminatboden	65	70
ObBo 4	Keramische Fliesen bzw. Natur-/Betonwerksteine	70	70

Abb.4: Vorschläge für die maximale relative Luftfeuchte φ_{zul} von Zementestrichen in Anlehnung an das "Merkblatt Schnittstellenkoordination" [2].

Oberboden auf Calciumsulfatestrichen		Grenzwert rel. Luftfeuchte φ_{zul} in %	
		beheizt	nicht beheizt
ObBo 1	Textile und elastische Beläge	60	75
ObBo 2	Parkett	60	75
ObBo 3	Laminatboden	60	75
ObBo 4	Keramische Fliesen bzw. Natur-/Betonwerksteine	60	75

Abb.5: Vorschläge für die maximale relative Luftfeuchte φ_{zul} von Calciumsulfatestrichen in Anlehnung an das "Merkblatt Schnittstellenkoordination" [2].

Die bessere Methode ist jedoch die Festlegung von Grenzwerten nach der direkten Methode. Der Vorteil dieser Methode liegt nämlich darin, dass dann für alle Estrichsorten der Grenzwert für φ_{zul} gleich ist. Auch für Schnellestriche, Estriche mit Trocknungsbeschleunigern und Magnesiaestrichen gilt dieser Grenzwert, da er vom Oberboden bestimmt wird und nicht vom Unterboden (Estrich).

Oberboden auf Zementestrichen oder Calciumsulfatestrichen		Grenzwert rel. Luftfeuchte φ_{zul} in %	
		beheizt	nicht beheizt
ObBo 1	Textile und elastische Beläge	65	65
ObBo 2	Parkett	65	65
ObBo 3	Laminatboden	65	65
ObBo 4	Keramische Fliesen bzw. Natur-/Betonwerksteine	65	65

Abb.6: Vorläufiger Vorschlag für die maximale relative Luftfeuchte φ_{zul} für Zementestriche und Calciumsulfatestriche und möglicherweise weitere Estrichsorten.

Betrachtet man die Wertebereiche in Abschnitt 6.2, so wird ersichtlich, dass möglicherweise ein einziger Grenzwert für alle Estricharten und Oberböden gelten kann, nämlich wie in Abbildung 6 ausgewiesen:

$$\varphi_{zul} = 65 \%$$

Auch hier müssten empirische Untersuchungen zeigen, ob möglicherweise höhere Grenzwerte erlaubt werden können, insbesondere bei feuchteunempfindlichen Oberböden (z. B. keramische Fliesen, Epoxidharze etc).

7. Einflüsse auf das Messverfahren und die Grenzwerte

7.1 Feuchteverteilung im Estrich

Bei der Anwendung der o. g. Grenzwerte für φ_i muss man sich immer vor Augen halten, dass die Messung der Feuchte im Regelfall in dem Zustand ohne Oberboden erfolgt. Der Estrich kann also austrocknen. Das führt dazu, dass der obere Bereich des Estrichs deutlich trockener ist als der untere Bereich des Estrichs (oder Betons).

Nach Aufbringen des Oberbodens oder einer Beschichtung entsteht auf dem Unterboden meist eine Schicht mit hohem Wasserdampfdiffusionswiderstand. Das führt zu einer Umverteilung der Feuchte, bei der sich die Feuchteunterschiede weitestgehend ausgleichen. Vereinfacht kann man sagen, dass sich ein einheitliches Feuchteniveau über den gesamten Querschnitt einstellt. Dabei steigt die Feuchte in der Grenzfläche zum Oberboden an, im unteren Bereich nimmt sie entsprechend ab.

Die in den vorangegangenen Abschnitten angegebenen Grenzwerte für φ_{zul} beziehen sich auf diesen Zustand des Estrichs ohne Feuchtegefälle. Um diesen Zustand bei der Bewertung zu erfassen, müssen die Messwerte entweder im unteren Bereich des Estrichs ermittelt werden oder es müssen geeignet gestaffelte Werte über den Querschnitt des Estrichs ermittelt werden, welche die Festlegung eines geeigneten Mittelwertes erlauben. In [10] werden weitere Möglichkeiten der geeigneten Messtiefe genannt. Diese Problematik ist jedoch nicht neu, sie besteht auch bei der Messung des massebezogenen Wassergehaltes u_m in Masse-% oder CM-%. Auch hier kennt man die Querschnittsprobe bzw. die Probe aus dem unteren Estrichbereich.

7.2 Temperaturabhängigkeit des Messverfahrens

Bei Temperaturänderung der Porenluft wird sich φ_i zunächst ändern. Dann stehen φ_i und u_m nicht mehr im

Gleichgewicht. Sobald das Feuchtegleichgewicht aber wieder hergestellt ist, stellt sich wieder der zum Wert u_m zugehörige Wert von φ_i ein. Das liegt daran, dass die Sorptionsisotherme nur wenig von der Temperatur abhängig ist. Da die Porentemperatur durch die Temperatur des umgebenden Baustoffes bestimmt ist und sich deshalb nur langsam ändern kann, können sich in der Praxis auftretende geringe Änderungen der Temperatur der Umgebung (ϑ_a) auf die Zusammenhänge zwischen φ_i und u_m nicht auswirken. Erst wenn der Unterboden eine deutlich erhöhte oder erniedrigte Temperatur im Vergleich zum normalen Temperaturbereich (um 20 °C) aufweist (z. B. Heizestrich, Estrich im Außenbereich), ändert sich auch φ_i , jedoch nur geringfügig [10].

7.3 Rückseitige Feuchtigkeit

Damit sich die Estrichfeuchte unter einem Oberboden oder die Feuchte eines beschichteten Betons nicht später erhöht, darf Wasser (als Wasserdampf oder in flüssiger Form) nicht von der Unterseite/Rückseite her einwandern. Andernfalls können wegen Erhöhung der Feuchte im Estrich oder Beton gravierende Schäden ausgelöst werden [16]. Die Konstruktion muss also darauf überprüft werden, ob im Nutzungszustand solche Gegebenheiten, z. B. nachstoßende Feuchte aus Betondecken oder Bodenplatten, auftreten können. Erforderlichenfalls müssen zusätzliche Abdichtungen oder Dampfsperren unter dem Estrich eingesetzt werden oder der Wasserdampfdiffusionswiderstand des Oberbodens bzw. der Beschichtung muss reduziert werden, damit die nachstoßende Feuchte aus dem Untergrund auch wieder austrocknen kann.

Die hygrometrische Feuchtemessung mit Datenloggern eignet sich besonders gut, nachstoßende Feuchte aus dem Untergrund, d. h. aus der Konstruktion, festzustellen [10]. Diese Prüfung muss man vor der Aufbringung des Oberbodens durchführen. Im Planungsstadium empfiehlt es sich, abdichtende Maßnahmen zu ergreifen, wenn nachstoßende Feuchte nicht ausgeschlossen werden kann, z. B. aus Betondecken oder sehr dicken Estrichen.

Literatur

- [1] WTA Referat 4 Mauerwerk, WTA Arbeitsgruppe 4.11, Leiter Günter Rieche: Sachstandsbericht zur Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2002
- [2] Informationsdienst Flächenheizung: Schnittstellenkoordination bei beheizten Fußbodenkonstruktionen, Ausgabe Februar 2005, Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e. V., Hagen
- [3] BEB-Merkblatt: CM-Messung, Ausgabe Januar 2007, Bundesverband Estrich und Belag e. V., Troisdorf

- [4] S. Bluhm: Entwicklung und Untersuchung einer Methode für die hygrometrische Bestimmung der Feuchte in Zementestrichen, Diplomarbeit Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart 2002
- [5] G. Rieche: Neue Wege der Feuchtemessung und Beurteilung von Estrichen und Betonen, Beton und Stahlbetonbau 99 (2004), Seiten 794-797
- [6] G. Rieche: Bewertung der Belegreife von Estrichen mit hygrometrischen Verfahren, Estrich-Technik & Fußbodenbau 24 (2008) Heft 143, Seiten 10-15
- [7] D. Ziegler: Untersuchungen zur Austrocknung und zum Schwinden von Schnellestrichen im Hinblick auf die Belegreife, Diplomarbeit Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart 2007
- [8] C. Blatt: Untersuchungen zur Belegreife von Calciumsulfatestrichen unter besonderer Berücksichtigung der Austrocknung und Erhärtung, Bachelor-Thesis Hochschule für Technik, Stuttgart 2010
- [9] P. Jumme: Moisture Control in Concrete; 5. Internationales Kolloquium Industrieböden 2003, Technische Akademie Esslingen, S. 243-247
- [10] D. Ziegler: Hygrometrische Feuchtemessung – Anwendung in der Praxis, 7. Internationales Kolloquium Industrieböden 2010, Technische Akademie Esslingen
- [11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie); Teil 1 bis 4; Beuth Verlag; Berlin 2001
- [12] TKB-Merkblatt 1: Kleben von Parkett; Stand März 2007; Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e. V., Düsseldorf
- [13] Fischer, Jenisch, Stöhrer, Homann, Freymuth, Richter, Häupl: Lehrbuch der Bauphysik, Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima, 6., aktualisierte und erweiterte Auflage; Vieweg+Teubner Verlag; Wiesbaden 2008
- [14] TKB-Merkblätter 2 bis 7, 9; verschiedene Ausgaben; Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e. V., Düsseldorf
- [15] U. Bischoff: Bestimmung von Sorptionsisothermen von Baustoffen, Diplomarbeit Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart 1994
- [16] G. Rieche, E. Fischer: Einfluss von rückseitiger Feuchtigkeit auf Estriche und Beschichtungen, Kunststoffe 78 (1988) H.2, Seiten 161-164
- [17] TKB-Merkblatt 8: Beurteilen und Vorbereiten von Untergründen für Bodenbelag- und Parkettarbeiten; Stand Juni 2004; Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e. V., Düsseldorf