

Schriftenreihe

Heft 97/2014

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

Dr. Uwe Schürger

Feuchtemessung zur Beurteilung eines Schimmelpilzrisikos, Bewertung erhöhter Feuchtegehalte

Veröffentlicht in:

Tagungsband der Aachener Bausachverständigentage 2013

Bauen und Beurteilen im Bestand

Herausgeber: Rainer Oswald, AIBau, Aachen, Deutschland

Verlag: Springer Vieweg

ISBN 978-3-658-02825-1

<http://www.springer.com/springer+vieweg/bauwesen/sanierung/book/978-3-658-02825-1>

Feuchtemessung zur Beurteilung eines Schimmelpilzrisikos, Bewertung erhöhter Feuchtegehalte

Dr. Uwe Schürger

Institut für Bautenschutz, Baustoffe und Bauphysik – Dr. Rieche und Dr. Schürger GmbH & Co. KG, Fellbach

1 Baustofffeuchte

1.1 Grundlagen

Die meisten Baustoffe weisen eine mehr oder weniger starke Porosität auf. Bei solchen Baustoffen findet die Wasserspeicherung bzw. die Wassereinlagerung hauptsächlich in den Porenräumen statt. Das Feuchtespeicherverhalten dieser Baustoffe ist dabei abhängig von der Porenverteilung, der Porengröße und der Porenart. Unter praktischen Gesichtspunkten sind bei der Feuchtespeicherung in porösen Baustoffen zwei Mechanismen maßgeblich, nämlich die Anlagerung von Wassermolekülen an den Porenwänden durch Oberflächenkräfte (physikalisch gebundenes Wasser) und die Aufnahme von ungebundenem Wasser in die Poren (freies Wasser).

Die Menge des im Baustoff vorhandenen Wassers wird meist durch den massebezogenen Wassergehalt u beschrieben. Der Wassergehalt u entspricht dem Verhältnis der physikalisch gebundenen + freien Wassermasse zur Masse des trockenen Baustoffs.

In einigen Baustoffen wird eine größere Menge Wasser auch chemisch gebunden, wie z.B. in Gipsbaustoffen. Das chemisch gebundene Wasser ist jedoch Bestandteil der Struktur des Baustoffes und verbleibt unter baupraktischen Bedingungen in der Regel im Baustoff. Das chemisch gebundene Wasser ist bei der baupraktischen Beurteilung des Feuchtezustands von Baustoffen daher nicht zu berücksichtigen.

Der Wassergehalt u kann mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$u = (m - m_0) / m_0 \quad [\text{kg/kg}]$$

bzw.

$$u = (m - m_0) / m_0 \cdot 100 \% \quad [\text{M-\%}]$$

Hierbei bedeuten:

- u Wassergehalt in kg/kg bzw. M-%
- m Masse der entnommenen feuchten Baustoffprobe in kg, d. h. die Probe enthält physikalisch gebundenes + freies Wasser.
- m_0 Masse der Baustoffprobe in kg nach dem Trocknen bis zur Massekonstanz, d. h. die Masse des Baustoffs ohne das ursprünglich enthaltene physikalisch gebundene + freie Wasser.

1.2 Hygroskopische Feuchte (Wassergehalt infolge Sorption)

Die meisten Baustoffe nehmen bei feuchtem Umgebungsklima Wasser aus der sie umgebenden Luft auf bzw. geben bei entsprechend trockenem Umgebungsklima Wasser an diese ab. Dieses hygroskopische Feuchtespeicherverhalten ist baustoffspezifisch und wird in sog. "Sorptionisothermen" beschrieben.

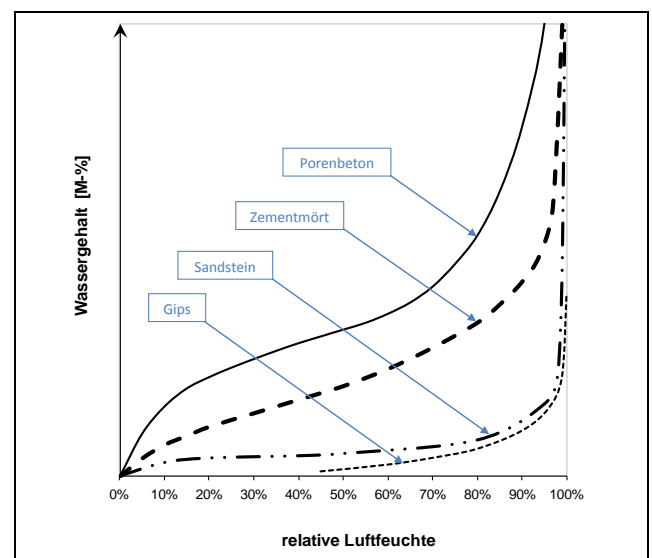


Bild 1: Typische Sorptionsisothermen verschiedener Baustoffgruppen [1]

In diesen Sorptionsisothermen ist der Wassergehalt des Baustoffs in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft dargestellt. Das Bild 1 zeigt typische Verläufe von Sorptionsisothermen verschiedener Baustoffgruppen.

Der sich in einem Baustoff bei konstantem Umgebungs-klima einstellende Wassergehalt entspricht der Ausgleichsfeuchte des Baustoffes zu diesem Umgebungs-klima. Die Werte der Ausgleichsfeuchte kennzeichnet man durch Indizierung des Wassergehalts u mit derjenigen relativen Luftfeuchte, mit der er im Gleichgewicht steht. So entspricht z.B. der Wassergehalt u_{80} der Ausgleichsfeuchte eines Baustoffes bei 80 % relativer Luftfeuchte der Umgebungsluft.

Umgekehrt besteht auch ein Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt des Baustoffes und der relativen Luftfeuchte in den Baustoffporen. Dies bedeutet, der Wassergehalt des Baustoffes bestimmt die relative Luftfeuchte in den Baustoffporen (sog. Materialklima). Im Gleichgewichtsfall entspricht das Materialklima dem Umgebungs-klima.

Infolge der hygroskopischen Feuchtespeicherung weisen poröse Baustoffe im Gleichgewicht mit "üblichen" Klimabedingungen also bereits einen bestimmten Wassergehalt auf. Absolut trockene Baustoffe liegen unter baupraktischen Klimabedingungen folglich so gut wie nie vor.

1.3 Überhygroskopische Feuchte

Von überhygroskopischer Feuchte spricht man, wenn sich der Baustoff in einer Umgebung von über ca. 95 % relativer Luftfeuchte oder in Kontakt zu flüssigem Wasser befindet. Die Feuchtespeicherung im überhygroskopischen Bereich wird i.d.R. durch folgende spezifische Wassergehalte beschrieben:

Kritischer Wassergehalt u_{KR}

Der kritische Wassergehalt u_{KR} stellt die untere Grenze für die Möglichkeit kapillaren Wassertransports dar. Unterhalb dieses Wassergehalts kann kein kapillarer Wassertransport stattfinden und somit auch keine kapillare Weiterverteilung des Wassers im Baustoff. Wird ein trockener Baustoff lokal mit einer begrenzten Wassermenge beaufschlagt, so wird dieses Wasser zunächst

kapillar soweit im Baustoff verteilt, bis an der beaufschlagten Stelle der kritische Wassergehalt erreicht ist. Von da an erfolgt die Weiterverteilung nur noch durch Diffusion. – Der kritische Wassergehalt markiert den Übergang vom hygroskopischen in den überhygroskopischen Bereich.

Freier Wassergehalt u_f

Der freie bzw. freiwillige Wassergehalt u_f bezeichnet diejenige Wassermenge, die ein Baustoff aufnimmt, wenn er einige Zeit der Einwirkung von drucklosem Wasser ausgesetzt ist. Die Bestimmung von u_f kann z.B. nach DIN EN 13755 erfolgen. Dort ist der entsprechende Wert als A_b bezeichnet und wird in M-% angegeben.

Sättigungsfeuchte u_{max}

Unter Druck oder durch langfristige Lagerung unter Wasser können sämtliche Poren eines Baustoffs mit Wasser gefüllt werden. Der Baustoff hat dann die maximal mögliche Wassermenge aufgenommen und seinen maximalen Wassergehalt bzw. seine sog. Sättigungsfeuchte u_{max} erreicht. Die Ermittlung der Sättigungsfeuchte kann z. B. nach DIN 52009 erfolgen, dort ist die Sättigungsfeuchte mit $W_{m,d}$ bezeichnet.

Durchfeuchtungsgrad

Der Durchfeuchtungsgrad bezeichnet das Verhältnis des massebezogenen Wassergehalts u zur Sättigungsfeuchte u_{max} des Baustoffs.

$$\text{Durchfeuchtungsgrad} = \frac{u}{u_{max}} \cdot 100 \%$$

Der Durchfeuchtungsgrad gibt an, welcher Anteil in % des für Wasser zugänglichen Porenvolumens gefüllt ist. Der Durchfeuchtungsgrad ist insbesondere bei der Planung von Instandsetzungsmaßnahmen wesentlich, da bestimmte Maßnahmen, z.B. Injektionen zur nachträglichen Abdichtung, teilweise nur bis zu bestimmten Durchfeuchtungsgraden durchgeführt werden können.

2 Bewertung des Feuchtezustands von Baustoffen - Schimmelpilzrisiko

Die Bewertung des Feuchtezustands von Baustoffen erfolgt im hygroskopischen Feuchtebereich anhand der Ausgleichsfeuchte (rel. Luftfeuchte von 0% bis ca. 95%,

siehe Abschnitt 1.2), d.h. anhand der Sorptionsisothermen. Im überhygroskopischen Feuchtebereich erfolgt die Bewertung anhand spezifischer Wassergehalte (siehe Abschnitt 1.3).

Schimmelpilzsporen sind in der Außenluft und in der Raumluft praktisch immer in gewissen Mengen vorhanden. Damit es jedoch zu einem aktiven Befall eines Baustoffes mit Schimmelpilzbildungen kommen kann, müssen dort geeignete Wachstumsbedingungen über einen bestimmten Zeitraum vorliegen. Die wichtigsten Wachstumsbedingungen sind dabei ein ausreichendes Nährstoffangebot, das Vorhandensein von ausreichender Feuchtigkeit und eine geeignete Temperatur. Weiteren Einfluss haben z.B. das Sauerstoffangebot, Licht und der pH-Wert der Oberfläche. Im baupraktischen Bereich ist davon auszugehen, dass mit Ausnahme der Feuchtigkeit die erforderlichen Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze in den meisten Fällen in ausreichender Form vorliegen und auch nur wenig beeinflusst werden können. Zur Vermeidung eines Schimmelpilzbefalls ist es daher in der Regel erforderlich, die Feuchte bzw. den Wassergehalt der Baustoffe so zu begrenzen, dass ein Schimmelpilzwachstum nicht möglich ist. Umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen zu Schimmelpilzwachstum auf Baustoffen, dokumentiert z.B. in [6] und [7], belegen, dass selbst unter „optimalen“ Wachstumsbedingungen unterhalb einer Ausgleichsfeuchte des Substrates von u_{70} praktisch kein Schimmelpilzwachstum (Auskeimung von Sporen) möglich ist. Für bauübliche, „günstige“ Untergründe (Tapeten, Gipskarton) ist unter ansonsten optimalen Bedingungen von einem Schimmelpilzwachstum erst ab einer Ausgleichsfeuchte von u_{75} zu rechnen, bei „normalen“ Untergründen (mineralische Baustoffe, Hölzer, Dämmstoffe) erst ab einer Ausgleichsfeuchte von u_{80} . Unter baupraktischen Bedingungen ist aber erfahrungsgemäß erst dann mit Schimmelpilzbildungen zu rechnen, wenn die Baustoffe in der oberflächennahen Schicht eine Ausgleichsfeuchte größer u_{80} aufweisen. Auf dieser Erkenntnis basieren auch die aktuell gültigen Anforderungen an den Mindestwärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken gemäß DIN 4108-2:2013-02 bzw. gemäß DIN EN ISO 13788:2001-11. Im Allgemeinen ist somit davon auszugehen, dass unter einer Ausgleichsfeuchte von u_{80} an

üblichen Baustoffen nicht mit Feuchteschäden in Form von Schimmelpilzbildungen gerechnet werden muss.

Neben der Ausgleichsfeuchte u_{80} zur Bewertung eines Schimmelpilzrisikos können auch andere Ausgleichsfeuchten für eine Bewertung herangezogen werden, z.B. wenn untersucht werden soll, ob die vorliegende Baustofffeuchte den vorherrschenden Klimabedingungen entspricht. Liegt die Baustofffeuchte über der zu erwartenden Ausgleichsfeuchte zum vorliegenden Klima, so kann dies ein Hinweis auf einen Wasserschaden oder auf das Vorhandensein von hygroskopischen Salzen im Baustoff sein.

Baustofffeuchten im überhygroskopischen Bereich deuten i.d.R. auf die Einwirkung von flüssigem Wasser hin. Eine detaillierte Bewertung von Baustofffeuchten im überhygroskopischen Bereich ist z.B. dann erforderlich, wenn geeignete Maßnahmen für eine Sanierung/Instandsetzung geplant werden müssen. Manche Maßnahmen zur nachträglichen Abdichtung können nämlich nur bis zu bestimmten Durchfeuchtungsgraden durchgeführt werden.

3 Gängige Feuchtemessverfahren - Anwendungsbereiche bzw. -grenzen

3.1 Direkte Messverfahren

Direkte Verfahren liefern quantitative Werte für den Wassergehalt u . Bei diesen Verfahren wird die Wassermenge im Baustoff direkt ermittelt. Die einzigen direkten Verfahren sind das Darr-Verfahren und das CM-Verfahren. Für die Bewertung des Feuchtezustands müssen die mit diesen Verfahren ermittelten Wassergehalte dann mit den baustoffspezifischen Feuchte Kennwerten (Sorptionsisotherme / spezifische Wassergehalte) der untersuchten Baustoffe verglichen werden.

Darr-Verfahren

Das Darr-Verfahren stellt das Referenzverfahren der Feuchtemessverfahren dar (DIN EN ISO 12570). An diesem Verfahren werden alle anderen Feuchtemessverfahren kalibriert.

Mit dem Darr-Verfahren wird der massebezogene Wassergehalt u durch Wägung und Trocknung der Baustoff-

probe ermittelt. Üblicherweise wird zur Trocknung von Baustoffen ein Wärmeschrank (Bild 2) mit einer Temperatur von 105 °C verwendet. Die Trocknungstemperatur liegt also etwas oberhalb der Siedetemperatur von Wasser.

Die Luftfeuchte im Wärmeschrank muss möglichst niedrig gehalten werden. Hierzu ist es erforderlich den Wärmeschrank zu belüften. Es muss sichergestellt werden, dass hierbei das gesamte freie und physikalisch gebundene Wasser freigesetzt wird. Dies wird durch Trocknung bis zur Massekonstanz erreicht. Die Konstanz der Masse gilt aus baupraktischer Sicht als erreicht, wenn die Massendifferenz zwischen zwei Wägungen, die mindestens 24 Stunden auseinander liegen, kleiner als 0,1 % der zuletzt festgestellten Masse ist.



Bild 2: Wärmeschrank

Bei einer Temperatur von 105 °C würde bei calciumsulfathaltigen Baustoffen jedoch ein Teil des chemisch gebundenen Wassers ausgetrieben werden. Zur Bestimmung der Feuchte von calciumsulfathaltigen Baustoffen, z. B. Gipsputz, wählt man als Trocknungstemperatur deshalb 40 °C.

Neben der Verwendung von Wärmeschränken wird die Mikrowellen- und die Infrarottrocknung angewendet. Der Vorteil dieser Verfahren ist eine schnellere Messwertbestimmung, sie sind jedoch nicht für alle Werkstoffe anwendbar. Es können bei Verwendung dieser Verfahren nämlich lokale Erwärmungen des Werkstoffs über 105 °C auftreten.

Trocknungsverfahren ohne Probenerwärmung sind die Vakuumtrocknung und die Gefriertrocknung. Bei der Gefriertrocknung, die unterhalb 0 °C erfolgt, finden zudem keine Umverteilungsprozesse neben der Feuchteumverteilung statt; die Probe kann daher anschließend z. B. auf ihre Salzverteilung hin untersucht werden.

Der wesentliche Vorteil des Darr-Verfahrens ist die hohe Genauigkeit bei der Ermittlung des Wassergehalts. Nachteilig sind die erforderliche Probenentnahme (zerstörende Untersuchung) und dass die Messungen an der entnommenen Probe nicht reproduzierbar sind, weil der Wassergehalt der Probe durch die Messung verändert wird. Weitere Nachteile dieses Verfahrens sind der relativ hohe Zeitaufwand und dass die Untersuchung der Proben in der Regel im Labor durchgeführt werden muss. Ein weiterer Aspekt ist die mögliche Verfälschung des Wassergehaltes bereits bei der Probenentnahme. Dies ist insbesondere dann zu befürchten, wenn die Proben aus relativ festen Baustoffen entnommen werden und es bei der Entnahme zu einer starken Wärmeentwicklung kommt. Durch die Wahl eines geeigneten Probenentnahmeverfahrens kann die Verfälschung des Wassergehalts in der Regel jedoch ausreichend klein gehalten werden.

CM-Verfahren

Die Bestimmung der Feuchte von Baustoffen nach dem CM-Verfahren (Bild 3) beruht auf der Reaktion von Calciumcarbid (CaC_2) mit Wasser. Dabei entstehen Calciumhydroxid (Ca(OH)_2) und das Gas Acetylen (C_2H_2). Die Menge des gasförmigen Reaktionsproduktes Acetylen ist proportional zur umgesetzten Menge an Wasser und erzeugt in der Prüfflasche einen Überdruck, aus dem gerätespezifisch der Wassergehalt der Einwaage in CM-% ermittelt wird.

Der Vorteil dieses Verfahrens besteht eindeutig darin, dass hiermit relativ schnell am Objekt der Wassergehalt bestimmt werden kann. Nachteilig bei diesem Messverfahren ist, wie beim Darrverfahren, dass eine Probenentnahme erforderlich wird (zerstörende Untersuchung, mögliche Verfälschung des Wassergehalts bei der Probenentnahme) und dass die Messung nicht reproduzierbar ist. Weiter bestehen bei der Anwendung dieses Verfahrens zahlreiche Fehlerquellen, die nur bei fachge-

rechter, konsequenter Einhaltung der jeweiligen Messvorschriften ausreichend minimiert werden können. Hierzu zählen insbesondere die Berücksichtigung der diversen Temperaturabhängigkeiten, der Grad der Zerkleinerung des Prüfgutes, der allg. technische Zustand der Prüfeinrichtung, etc. Weiter ist zu beachten, dass z.B. bei der Messung von calciumsulfatgebundenen Baustoffen auch ein Teil des chemisch gebundenen Wassers reagiert (vgl. Abschnitt 1.1). Auch ist zu beachten, dass die mit diesem Verfahren ermittelten Wassergehalte in der Regel niedriger sind als bei der Ermittlung mit dem Darr-Verfahren, mit Ausnahme der Messung von calciumsulfatgebundenen Baustoffen, hier liegen die gemessenen Werte meist höher.



Bild 3: CM-Messgerät inkl. Zubehör

Das CM-Verfahren wird häufig zur Überprüfung der Belegreife von Estrichen eingesetzt. Für diese speziellen Prüfungen bestehen daher konkrete Bewertungskriterien in Form von Grenzwerten für den Wassergehalt u in CM-%. Diese Grenzwerte verlieren im Rahmen der Entwicklung immer neuer Estrichrezepturen (insbesondere für Schnellestriche) jedoch zunehmend ihre Aussagekraft, weil diese Grenzwerte auf Erfahrungen für "herkömmliche" Estriche basieren, nicht aber auf physikalischen Grundlagen, wie z.B. auf einer max. zulässigen Ausgleichsfeuchte in Bezug auf die aufzubringenden Bodenbeläge.

3.2 Indirekte Messverfahren

Die indirekten Verfahren liefern zunächst keinen quantitativen Wert für den Wassergehalt u und auch nicht für die Ausgleichsfeuchte. Diese Verfahren bestimmen zunächst feuchteabhängige physikalische Eigenschaften der Baustoffe. Um aus diesen Messwerten auf den Wassergehalt bzw. die Ausgleichsfeuchte der untersuchten Baustoffe schließen zu können, müssen die Verfahren einer baustoffspezifischen Kalibrierung (z.B. mittels Darr-Verfahren oder CM-Verfahren) unterzogen werden. Ohne eine solche Kalibrierung können höchstens qualitative (vergleichende) Aussagen gemacht werden. Zu den gängigsten indirekten Messverfahren gehören die Widerstands- bzw. Leitfähigkeits-Verfahren und die dielektrischen Verfahren (Kapazitive Verfahren, Mikrowellen-Verfahren).

Für diese Verfahren gibt es jeweils relativ günstige und einfach zu handhabende Messgeräte, weshalb diese auch eine weite Verbreitung und Anwendung in der Baupraxis finden. Ein grundsätzlicher Vorteil dieser Messverfahren ist, dass sie zerstörungsfrei bzw. zerstörungsfrei sind und gewöhnlich keine Probenentnahme erfordern. Weiter verändern die Messungen den Wassergehalt des untersuchten Baustoffes nicht oder nur unwesentlich, so dass Wiederholungsmessungen bzw. eine Langzeitdokumentation möglich sind.

Nachteilig bei allen indirekten Messverfahren ist, dass diese ohne baustoffspezifische Kalibrierung im konkreten Einzelfall keine zuverlässigen quantitativen Aussagen zum Wassergehalt und damit zur Baustofffeuchte zulassen. Die von den Geräteherstellern oftmals mitgelieferten Kalibrierkurven oder Tabellenwerte zur Umrechnung des Anzeigewerts auf den Wassergehalt stellen bestenfalls grobe Richtwerte dar. Außerdem liegen in der Baupraxis in der Regel nur selten homogene Baustoffe vor. Viel häufiger findet man Bauteile aus mehreren Baustoffen und Baustoffschichten, über die aber meist keine detaillierten Informationen vorliegen. An solchen Bauteilen können mit diesen Verfahren keine quantitativen Aussagen zum Wassergehalt der einzelnen Baustoffe gemacht werden.

Die indirekten Messverfahren sind jedoch in der Regel gut geeignet zur zerstörungsfreien qualitativen flächigen Kartierung von Feuchteunterschieden an einem Bauteil.

Sie können daher z.B. zur Festlegung von geeigneten Probenentnahmestellen, z.B. für das Darr-Verfahren, oder im Rahmen der Schadensanalyse, z.B. für die Feststellung einer Feuchteverteilung, sinnvoll eingesetzt werden.

Widerstands- bzw. Leitfähigkeits-Verfahren

Bei diesem Messverfahren wird von der elektrischen Leitfähigkeit des Baustoffes auf den Wassergehalt geschlossen. Trockene Baustoffe sind oftmals Nichtleiter. Durch Wasser im Baustoff wird die Leitfähigkeit dann in weiten Bereichen verändert. Weiteren wesentlichen Einfluss auf die Leitfähigkeit haben aber auch die Temperatur, im Baustoff vorhandene Salze oder Metalle und die Kontaktierung zwischen Elektrode und Material. Für übliche Baustoffe (mit Ausnahme von Holz, siehe unten) ist mit diesem Verfahren allein daher meist keine verlässliche Bewertung der Baustofffeuchte zu erreichen.



Bild 4: Widerstands-/Leitfähigkeitsmessgerät. Hier: Untersuchung der Holzfeuchte

Gute Anwendbarkeit mit der Möglichkeit der halbquantitativen Bestimmung des Wassergehaltes besitzt dieses Messverfahren jedoch bei der Untersuchung von Holz (Bild 4). Die baustoffspezifischen Schwankungen der Leitfähigkeit von Holz sind nämlich relativ gering und im hohen Maße vom Wassergehalt abhängig. Bei der Bewertung der Holzfeuchte ist dieses Verfahren daher Standard.

Kapazitive Verfahren

Bei den kapazitiven Verfahren (Bild 5) handelt es sich um niederfrequente (i.d.R. unter 100 MHz) dielektrische Messverfahren. Hierbei wird die Dielektrizitätszahl des Baustoffes im Messfeld über den Widerstand und/oder die Kapazität des Kondensators in der Elektrode bestimmt, der wiederum von der Feuchte des Baustoffes abhängig ist.



Bild 5: Kapazitives Feuchtemessgerät (Kugelsonde)

Weitere wesentliche Einflüsse auf die Messung haben aber auch Salze und Metalle im Baustoff, die Temperatur und die Kontaktierung zwischen Elektrode und Material. Auch mit diesem Verfahren allein ist daher meist keine verlässliche Bewertung der Baustofffeuchte möglich.

Mikrowellen-Verfahren

Bei den Mikrowellen-Verfahren handelt es sich um hochfrequente (i.d.R. über 1 GHz) dielektrische Messverfahren. Gegenüber den niederfrequenten dielektrischen Messverfahren (kapazitive Verfahren) kann hierbei der Einfluss von Salzen im Bauteil auf den Messwert minimiert werden. Probleme bei den Mikrowellen-Verfahren bestehen jedoch bei Inhomogenität im Baustoff (Streuung der Mikrowellen) und bei der Kontaktierung zwischen Elektrode und Material bei unebenen Untergründen (undefinierter Mikrowelleneintrag in den Baustoff). Ein weiteres Problem ist, dass eine baustoffspezifische Kalibrierung hinsichtlich des volumenbezogenen Feuchtegehalts zwar relativ gut möglich ist, zur Ermittlung des

massebezogenen Wassergehalts u dann aber die Dichte des Baustoffes bekannt sein muss.

Das Mikrowellen-Verfahren zählt bei den indirekten Messverfahren zu den erfolgversprechendsten neueren Verfahren zur Feuchtemessung in Baustoffen.

3.3 Hygrometrische Messverfahren

Bei den hygrometrischen Verfahren wird durch die Messung der relativen Luftfeuchte im bzw. am Baustoff der für die Beurteilung maßgebliche feuchtetechnische Kennwert des Baustoffes im hygroskopischen Bereich direkt bestimmt, nämlich die dem vorliegenden Wassergehalt des Baustoffes entsprechende Ausgleichsfeuchte. Die hygrometrischen Verfahren ermöglichen somit auf einfache Weise eine direkte Beurteilung des Feuchtezustands des Baustoffs. Die Kenntnis des konkreten Wassergehalts u bzw. die Kenntnis der Sorptionisotherme ist beim hygrometrischen Verfahren für eine Beurteilung des Feuchtezustands daher nicht erforderlich, d.h. die hygrometrischen Messverfahren sind baustoffunabhängig. Hinsichtlich der Bewertung des Schimmelpilzrisikos muss z.B. nur ermittelt werden, ob die im bzw. am Baustoff gemessene Luftfeuchte unter oder über 80 % liegt.

Ein weiterer großer Vorteil dieser Messverfahren ist, dass die Messungen mit langjährig bewährten Messfühler für Luftfeuchte durchgeführt werden können. Bei der Messung der relativen Luftfeuchte (meist kapazitive Feuchtesensoren) gibt es in der Regel keine wesentlichen Störgrößen.

Die hygrometrische Feuchtemessung setzt voraus, dass sich die relative Luftfeuchte in der "Messkammer" und die Baustofffeuchte im Gleichgewicht befinden. Dies erfordert in der Regel einen höheren Zeitaufwand bei der Durchführung der Messungen (Wartezeiten).

Die hygrometrische Feuchtemessung kann grundsätzlich auf drei verschiedene Arten durchgeführt werden, nämlich durch die Messung auf der Baustoffoberfläche, die Messung im Baustoff und die Messung an einer Baustoffprobe.

Messung auf der Baustoffoberfläche

Hierbei wird eine "Messkammer" auf der Baustoffoberfläche eingerichtet, z.B. durch aufkleben einer dampfdichten Folie oder eines dampfdichten Gefäßes. Darin wird ein Luftfeuchtemessfühler installiert. Diese Messung ist zerstörungsfrei und damit reproduzierbar.

Es ist darauf zu achten, dass die Temperatur des Baustoffes und der Umgebungsluft während der Messung möglichst konstant sind. Steigt nämlich z.B. die Umgebungstemperatur und somit auch die Lufttemperatur in der Messkammer innerhalb kurzer Zeit stark an, so wird kurzfristige eine zu niedrige relative Luftfeuchtigkeit gemessen. – In der Baupraxis lassen sich gewisse Schwankungen der Temperaturverhältnisse aber nicht immer verhindern. In diesem Fall ist ein Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit über einen längeren Zeitraum zu bestimmen. Zu diesem Zweck muss die Bauteiltemperatur sowie die Temperatur und die Luftfeuchte der umgebenden Luft gemessen und dokumentiert werden, z.B. mit einem Messfühler mit Datenlogger.

Messung im Baustoff

Hierfür wird ein Bohrloch mit einem langsam drehenden Bohrer in den Baustoff eingebracht. Dieses Bohrloch dient als Messkammer. Nach Entfernung des Bohrmehls und dem Abkühlen des Bohrlochs wird ein Messfühler eingebracht und das Bohrloch luftdicht verschlossen (Bild 6).



Bild 6: Hygrometrische Feuchtemessung im Baustoff. Hier: Überprüfung eines Bodenaufbaus nach einem Wasserschaden.

Mit diesem Verfahren ist auch eine tiefengestaffelte Feuchtemessung (Erstellung von Feuchteprofilen) möglich. Diese Messungen können auch über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden, z.B. zur Dokumentation des Austrocknungsverlaufes eines Baustoffes.

Bei der Verwendung kapazitiver Feuchtemessfühler lässt sich erfahrungsgemäß ca. 0,5 h bis ca. 1,0 h nach der Installation des Fühlers und dem Abdichten des Bohrloches eine erste Abschätzung der rel. Luftfeuchte im Bohrloch mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ rel. Luftfeuchte vornehmen. Für genauere Werte muss der weitere Feuchteverlauf überwacht werden, bis das Erreichen des Gleichgewichtszustandes zu erkennen ist. Hierfür haben sich z.B. Feuchtefühler mit Datenlogger bewährt.

Messung an einer Baustoffprobe

Hierbei wird die Baustoffprobe nach der Entnahme in ein kleines, luftdicht zu verschließendes „Gefäß“ eingebracht. In dieser Messkammer wird die sich einstellende Luftfeuchte gemessen (Bild 7).



Bild 7: Hygrometrische Feuchtemessung eines Baustoffes in einer „Prüfkammer“.

Bei der Untersuchung mineralischer Baustoffe sollte die Probe (100 g bis 200 g) vorher vergleichbar der Vorgehensweise beim CM-Verfahren zerkleinert werden. Erfahrungsgemäß stellt sich dann innerhalb von 30 bis 120 Minuten in der Messkammer ein konstantes Klima ein, das der Ausgleichsfeuchte der Probe entspricht. Es ist darauf zu achten, dass die Temperatur der Messkammer und der Umgebungsluft während der Messung möglichst konstant sind.

Bei allen drei Methoden kann der Feuchtezustand des untersuchten Baustoffes dann anhand der gemessenen Luftfeuchte in der jeweiligen "Messkammer" direkt beurteilt werden, da diese dem Ausgleichsfeuchtegehalt des geprüften Baustoffes entspricht. Liegt die gemessene relative Luftfeuchte dann z.B. unter 80 %, so ist nicht mit Feuchteschäden in Form von Schimmelpilzbildungen zu rechnen.

Eine Beurteilung von überhygroskopischen Baustofffeuchten ist mit den hygrometrischen Feuchtemessverfahren nicht möglich.

4 Ablaufschema zur Bewertung von Feuchtemesswerten

Das nachfolgende Bild 8 (nächste Seite) zeigt eine Übersicht über die allgemeine Vorgehensweise bei der Bewertung von Feuchtemesswerten in Abhängigkeit des gewählten Messverfahrens.

5 Literatur

- [1] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hg.): *Merkblatt 4-11, Messung des Wassergehalts bzw. der Feuchte von mineralischen Baustoffen*. Pfaffenhofen: WTA-Publications, Entwurf 12/2012 - erscheint demnächst als Gelbdruck.
- [2] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., WTA Referat 4 Mauerwerk, WTA Arbeitsgruppe 4.11 (Hg.): *Sachstandsbericht zur Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2004.
- [3] Umweltbundesamt, Innenraumlufthygiene-Kommission (Hg.): *Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“)*. Berlin: 2002.
- [4] Hankammer, G./Lorenz, W.: *Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden*. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2003.
- [5] Lorenz, W.: *Praxis-Handbuch Schimmelpilzschäden*. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2012.

Verfahrensauswahl / Beurteilungsweg

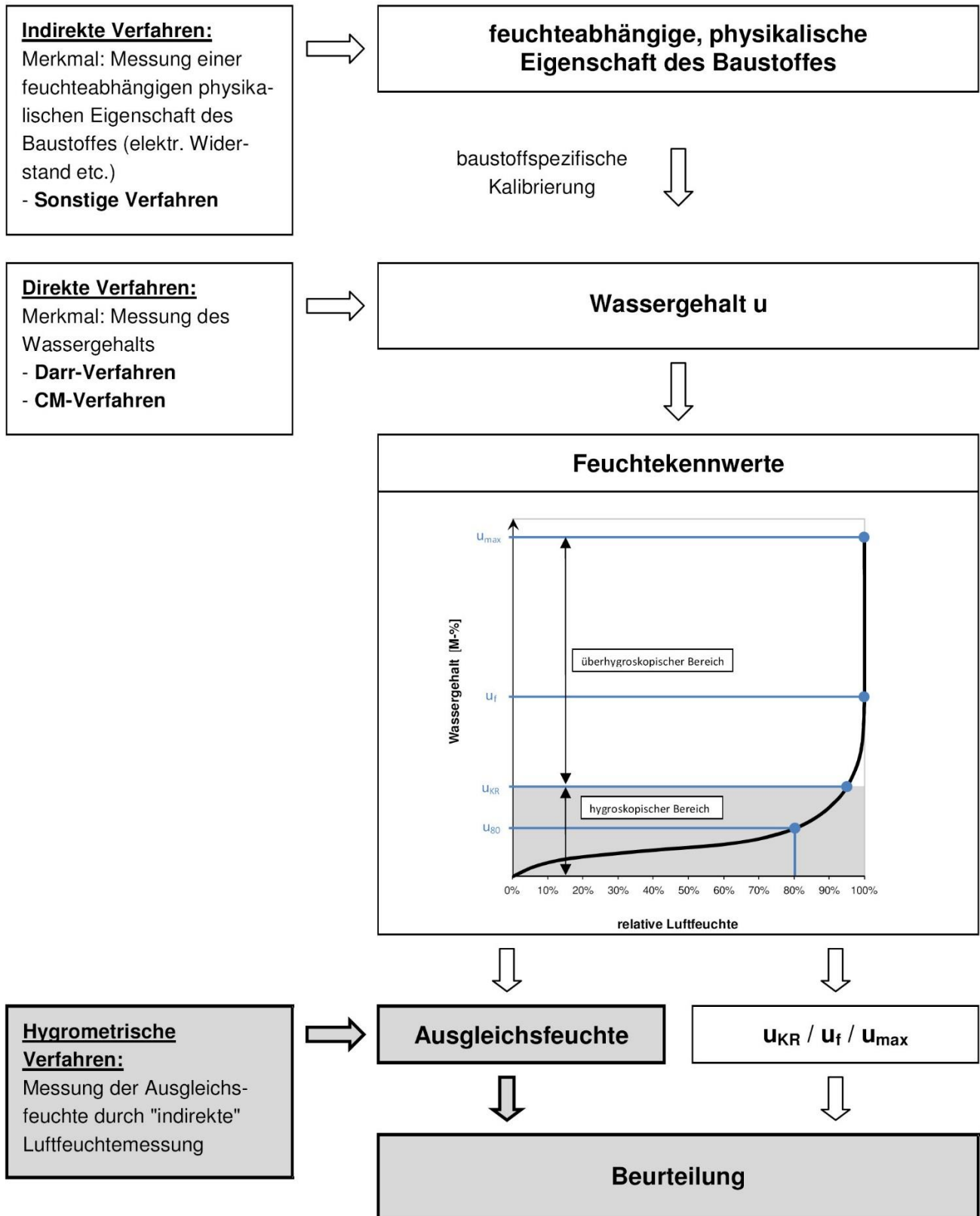


Bild 8: Vorgehensweise bei der Beurteilung von Feuchtemesswerten in Abhängigkeit des gewählten Messverfahrens [1]

- [6] Sedlbauer, K./Zwillig, W./Krus, M.: IBP-Mitteilung 388, Isolethensysteme ermöglichen eine Abschätzung von Schimmelpilzbildungen. Stuttgart: Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, 28(2001) Neue Forschungsberichte, kurz gefasst.
- [7] Sedlbauer, K./Krus, M.: Schimmelpilz aus bauphysikalischer Sicht - Bewertung durch aw-Werte oder Isolethensysteme?, Tagungsbeitrag zum Architekten- und Ingenieurtag zum Thema Bauphysik im Holzbau, Nürnberg, 27. April 2002 - Fachpublikation des Fraunhofer IBP.
- [8] Ziegler, D.: *Hygrometrische Feuchtemessung – Anwendung in der Praxis*, 7. Kolloquium Industrieböden 2010, Technische Akademie Esslingen (TAE), Ostfildern; Tagungsband Seite 93-101.
- [9] Rieche, G./Ziegler, D.: *Belegreife von Estrichen - Grenzwerte für die hygrometrische Feuchtemessung*, 7. Kolloquium Industrieböden 2010, Technische Akademie Esslingen (TAE), Ostfildern; Tagungsband Seite 85-92.



Dr. Uwe Schürger

Studium der Bauphysik (Hochschule für Technik Stuttgart). Promotion zum Thema „Sorptionsgestützte Klimatisierung“ (De Montfort University Leicester, UK). Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule für Technik, Fachbereich Bauphysik. Gründung eines Ing.-Büros für Bauphysik, seit 2009 Geschäftsführer des Instituts für Bautenschutz, Baustoffe und Bauphysik - Dr. Rieche und Dr. Schürger GmbH & Co. KG in Fellbach. Mitglied des WTA (Wissenschaftlich-Technische-Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.), seit 2010 Leiter der Arbeitsgruppe 4.11 „Messung der Feuchte in mineralischen Baustoffen“. Referent an der TAE (Technische Akademie Esslingen).

Die Veröffentlichung dieses Artikels erfolgte im
Tagungsband der Aachener Bausachverständigentage 2013
Bauen und Beurteilen im Bestand
Herausgeber: Rainer Oswald, AlBau, Aachen, Deutschland
Verlag: Springer Vieweg
ISBN 978-3-658-02825-1

<http://www.springer.com/springer+vieweg/bauwesen/sanierung/book/978-3-658-02825-1>