Foto: Zimmermann

Zerstörungsfreies, dielektrisches Messverfahren: Diese Messmethode ist für die qualitative Überprüfung einer Dachabdichtung geeignet. Die Messtiefe beträgt je nach Gerät und Hersteller circa 30 bis 50 mm. Die angezeigten Messwerte sind abhängig vom Untergrund.

SERIE SCHADENSDIAGNOSTIK

Michael Zimmermann

Sechs Methoden, ein Ziel

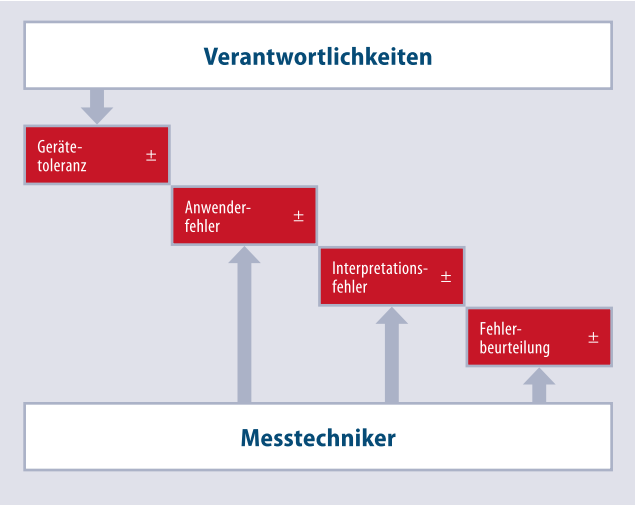
Ein strukturiertes Feuchtigkeitsmanagement für die Erstellung von Neubauten oder umfangreichen Sanierungsvorhaben ist immer noch kein Standard. Der Beitrag stellt unterschiedliche Feuchtemessmethoden vor und zeigt, welche Untersuchungstechniken „zerstörend“ oder „zerstörungsfrei“ sind.

„Bauen ist der Kampf des Menschen gegen das Wasser!“ Diese Problematik ist genauso alt wie das Bauen selbst. Mit erhöhter Baufeuchte hatten schon die „alten Baumeister“ zu kämpfen. Moderne und innovative Baukunst, aber auch gleichzeitig schnellere und dichtere Bauweisen tragen nichts zur Beschleunigung der Trocknungsprozesse bei. Ein strukturiertes Feuchtigkeitsmanagement für die Bautrocknung und zur dezentralen Feuchtigkeitsabführung bei Neubauten oder umfangreichen Sanierungsbauvorhaben ist auch heutzutage immer noch kein Standard. Aber nicht nur durch den Einbau zu feuchter Baumaterialien, auch durch Kondensationsfeuchte und Feuchtekonvektion sowie durch unzureichendes Heizen und Lüften kann eine zu hohe Feuchtigkeit in die Baustoffe gelangen. Auch die hygroskopischen Eigenschaften vieler Salze können eine hohe Wassereinlagerung in verschiedenen Materialien bewirken. Nicht zuletzt bringen Undichtheiten an Gebäudehüllen und Installationen innerhalb kürzester Zeit sehr viel Wasser in die Konstruktionen und die einzelnen Bauteile.

Unterschiedliche Herangehensweisen

Alle porösen Baustoffe korrespondieren mit der Umgebungsluftfeuchtigkeit und stellen ihre „Gleichgewichtsfeuchte“ darauf ein. Wenn dieses Gleichgewicht gestört ist, spricht man von „überhöhter Baufeuchte“. Die Feuchtigkeitsmessung und

Feststellung der Materialfeuchte gehören auch zur Schadensdiagnostik im Dachdeckerhandwerk. Von der Aufgabe und der Fragestellung hängen Art und Umfang der durchzuführenden Untersuchungen ab. Dabei gilt es,Folgendes zu beachten:



Das Messergebnis ist die Summe der einzelnen Fehler und Toleranzen. Die Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse sind nur ein Teil der Diagnostik und immer auf Plausibilität zu hinterfragen. Mögliche Störeinflüsse und Fehlerquellen bei der Messung sowie auch die Messtoleranzen der Geräte müssen berücksichtigt werden. Jede Messtechnik ist nur so gut, wie es der Anwender zulässt.
Der Messtechniker trägt in erster Linie die Verantwortung für die Qualität der Untersuchung.

Unterschiedliche Messmethoden

Für die Überprüfung stehen die verschiedensten Messmethoden zur Verfügung. In erster Linie unterscheiden wir zwischen „zerstörender“ und „zerstörungsfreier“ Untersuchungstechnik. Zu den „zerstörenden“ Baustofffeuchtemessungen gehören:

- Darrmethode
- CM-Messung
- hygrothermisches Hohlraummessverfahren

„Zerstörungsfreie“ Untersuchungen können mit folgenden Messmethoden durchgeführt werden:

- elektrische Widerstandmessung
- dielekrische Feuchtemessung
- Mikrowellenverfahren

Die Darrmethode

Hierbei handelt es sich um die „gravimetrische“ Bestimmung der Baustofffeuchte. In den meisten Fällen wird ein Bohrkern mittels einer langsam laufenden Bohrmaschine im Trockenver-

Anzeige

YOUR SIKA
YOUR SOLUTION

SERVICE · INNOVATION · KOMPETENZ · NACHHALTIGKEIT

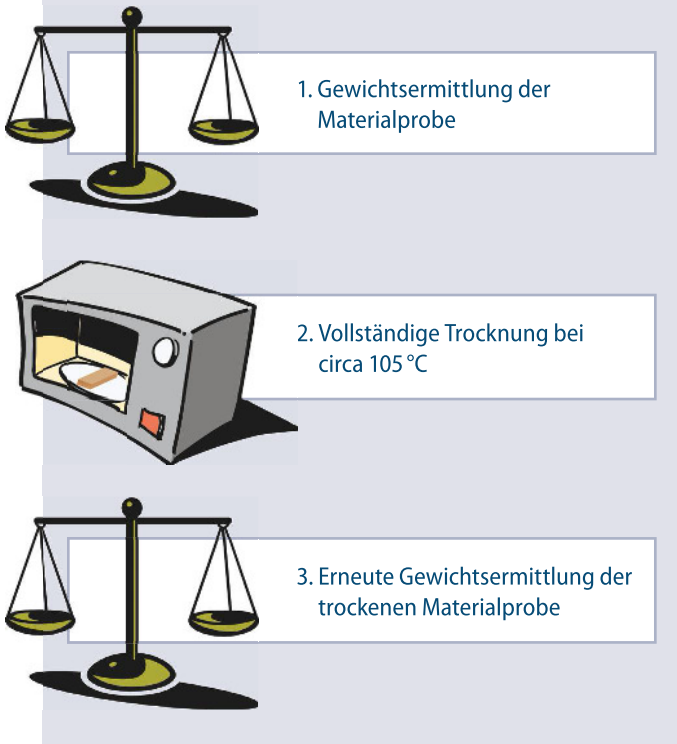
BAU 2017
16.–21. Januar · München

Gerne informieren wir Sie persönlich.
Besuchen Sie uns in **Halle A1 / Stand 530**
auf der **BAU 2017 in München**
vom 16. bis 21. Januar 2017.

www.sika.de/bau

BUILDING TRUST

fahren entnommen. Der Bohrdurchmesser sollte circa 100 bis 150 mm betragen. Die Prüfkörper werden direkt vor Ort verpackt und gekennzeichnet. Während des Transportwegs in das Labor darf die Feuchtigkeit des Prüfkörpers weder zu- noch abnehmen. Die Auswertung und die Feuchtebestimmung erfolgt durch Wägung der Probe im entnommenen Zustand und nach der Trocknung im Trockenschrank. Dadurch kann der absolute Wassergehalt in Volumen-% oder Masse-% bestimmt werden. Die Trocknungstemperaturen bei Holz und Holzwerkstoffe betragen 103 °C, bei mineralischen Baustoffen 105 °C und bei Gips-und Anhydritbaustoffen 40 °C.



Grafiken: Zimmermann

Beispiel:

- *Materialprobe vor Trocknung = 100 g*
- *Materialprobe nach Trocknung = 40 g*
- *Ergebnis:*

$$\frac{60}{40} \cdot 100 = 150 \text{ Masse-\%}$$

Fazit: Es handelt sich dabei eine zerstörende und sehr aufwendige punktuelle Messung. Dieses Prüfverfahren ist anerkannt, gerichtsfest und liefert die genauesten Ergebnisse.

Die CM-Messung

Bei der Calciumcarbidmethode handelt es sich um eine Überprüfung der Feuchtigkeit direkt auf der Baustelle. Meist wird dieses Verfahren zur Überprüfung der Belegreife von Estrichen eingesetzt. Die entnommene Materialprobe wird zerkleinert, gewogen und zusammen mit einer Calciumcarbid- Glaspatrone und Stahlkugeln in einer Druckflasche so lang geschüttelt, bis die Stahlkugeln die Materialprobe und die Glasampulle komplett zerstört haben. Dieser Vorgang wird noch zweimal wiederholt. Fünf Minuten nach dem Verschließen der Flasche wird diese nochmals eine Minute geschüttelt. Nach weiteren zehn Minuten wird die verschlossene Flasche noch einmal für zehn Sekunden letztmals geschüttelt.

Foto: Trotec

- Es findet eine chemische Reaktion statt. Das Calciumcarbid reagiert mit der Restfeuchte des Materials und baut einen Druck auf.
- Der Druckanstieg ist auf dem aufgesetzten Manometer der Druckflasche ablesbar.
- Das Ergebnis in CM-% lässt sich von dem Druckwert auf den Feuchtegehalt anhand von Tabellen zurückrechnen und auch auf dem Manometer ablesen.
- Die Materialproben betragen entweder 20 g, 50 g oder 100 g.

Fazit: Auch hier handelt es sich um eine zerstörende punktuelle Untersuchungsmethode. Diese Messmethode ist anerkannt, die Ergebnisse sind genau und auch gerichtsfest. Im Gegensatz zu der Darrmethode werden dabei keine aufwendigen Laboruntersuchungen benötigt, sondern die Messergebnisse werden direkt auf der Baustelle gewonnen.

Das hygrothermische Hohlraummessverfahren

Bei diesem hygrometrischen Messverfahren werden die Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur innerhalb von Bohrlöchern oder Hohlräumen gemessen. Aus diesen beiden Werten wird die absolute Luftfeuchtigkeit bestimmt und mit der Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur der dazugehörigen Raumluft verglichen. Poröse und mineralische Baustoffe nehmen Wasser aus der Luft auf (Luftfeuchtigkeit) und geben diese auch wieder ab. Im Laufe der Zeit stellt sich dadurch eine gewisse „Gleichgewichtsfeuchte“ in Abhängigkeit der Raumluftfeuchtigkeit ein. Die absolute Luftfeuchtigkeit ist das Ergebnis der tatsächlich vorhandenen Temperatur und der dazugehörigen relativen Luftfeuchtigkeit. Ausgedrückt wird die absolute Luftfeuchtigkeit entweder in g/m^3 Luft oder in g/kg trockene Luft.

Beispiel:

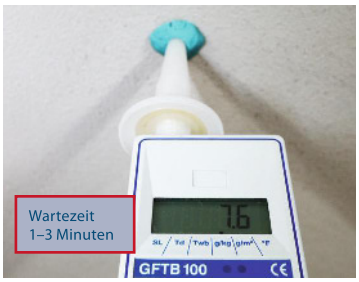
- *20 °C kann insgesamt 17,30 g Feuchtigkeit pro m³ Luft aufnehmen.*
- *Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % ergibt das eine absolute Luftfeuchte von 8,65 g/m³ Luft* (siehe DDH Bericht: Schadensdiagnostik im Dachdeckerhandwerk Teil 2: Bauphysik in der Theorie und Praxis – Luftfeuchte, DDH 16.2016, Seite 26)

Die Feuchtigkeit auf den Bauteiloberflächen und im Bauteilinneren steht in einem engen Zusammenhang mit der Raumluftfeuchtigkeit. Abweichungen zwischen 1,5 bis 3,0g/kg trockener Luft gelten als „auffällig". Ist der Unterschied zwischen dem Hohlraum/Bohrloch > 3,0 g/kg trockener Luft, spricht man von einer „hohen Auffälligkeit". Bei dieser Messmethode wird nicht die Materialfeuchte in Masse-% ermittelt. Hier geht es um die Feststellung eines möglichen Ungleichgewichts zwischen der Feuchtigkeit im Inneren der Bauteile im Verhältnis zu der dazugehörigen Raumluftfeuchte.

Vorgehensweise im Bild:

1. Loch bohren

2. Messfühler einstecken und abdichten



3. Ergebnis entweder am Messgerät ablesen oder ausrechnen

Fotos: Zimmermann

Anzeige

Die neuen Stars beim Dämmen.

BAU 2017
16.–21. Januar · München

Live bei URSA auf dem roten Teppich!

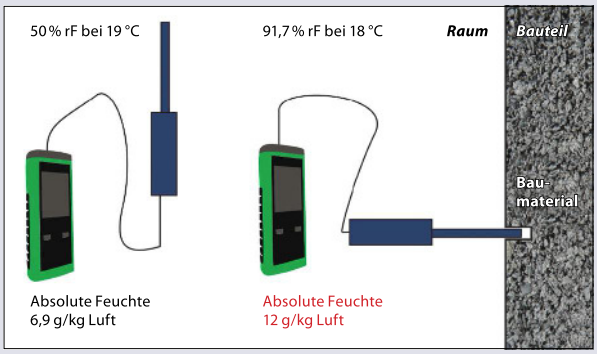
BAU 2017
Halle A1 Stand 121

Wir freuen uns auf Sie!

www.ursa.de

URSA

Die Messung ist bei allen Materialien durchführbar, es besteht hier keine Abhängigkeit von irgendwelchen Materialeinflüssen in den jeweiligen Baumaterialien. Auch vorhandene Hohlräume beeinflussen nicht die Messergebnisse. Mit dieser Methodik können auch Bauteile „schichtweise" untersucht werden. Durch die abschnittsweise Herstellung der Bohrlochtiefe können auch verschiedene Feuchteprofile aus den einzelnen Bauteilschichten abgeleitet werden.



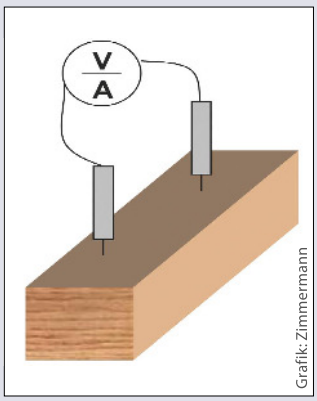
Grafik: Zimmermann

Skizze der Untersuchung. Die Ergebnisse können entweder direkt an dem Messgerät abgelesen, aber auch durch Eingabe in eine Software oder durch Umrechnung anhand von Tabellenwerten abgeleitet werden.

Fazit: Es handelt sich dabei um eine einfache Untersuchung mit recht genauen Ergebnissen. Mögliche Salzbelastungen in den einzelnen Materialien beeinflussen dabei nicht die Messergebnisse. Vor Ort können schnelle und sichere Aussagen über das Feuchteverhalten der untersuchten Bauteile getroffen werden. Durch eine entsprechende Untersuchungsstrategie kann die Befeuchtungsquelle herausgefunden werden. Weiterhin ist feststellbar, ob die Raumluft das Bauteil befeuchtet oder umgekehrt. Diese Messmethode ist auch für die Überprüfung des Sanierungserfolgs, beispielsweise nach einer Bauteiltrocknung, einsetzbar.

Die elektrische Widerstandsmessung

Zu den quasi „zerstörungsfreien" Messmethoden gehört die elektrische Widerstandsmessung. Mit diesem Messverfahren wird in erster Linie der Feuchtegehalt von Hölzern gemessen. Die elektrische Widerstandsmessung kann auch als orientierende Feuchtemessung bei anderen Baustoffen angewendet werden. Die Messung erfolgt nach dem Prinzip des „ohmschen Gesetzes". Zwischen den beiden Elektroden des Messgeräts werden ein elektrischer Messstrom und eine gewisse Spannung geleitet. Dieser Messstrom fließt über die erste Elektrode in den Baustoff und über die zweite Elektrode wieder zur Stromquelle zurück. Die an den Elektroden anliegende Spannung und die Stärke des Messstroms sind dabei definiert. Nach dem Prinzip des „ohmschen Gesetzes" wird der elektrische Widerstand ermittelt. Der Widerstand zwischen den Elektroden sinkt mit der zunehmenden Feuchtigkeit des Materials. Die besten Ergebnisse werden bei der Holzfeuchtemessung zwischen 6 % und 30 % Holzfeuchte erzielt. Zwischen dem „darrtrockenen" Zustand und etwa 6 % Holzfeuchte nimmt der elektrische Widerstand sehr schnell ab. Ab dem Fasersättigungspunktes von circa 30 verändert sich der elektrische Widerstand nur noch wenig mit zunehmender Holzfeuchtigkeit. Die elektrische Leitfähigkeit ist abhängig von der Holzart. Für die meisten Holzsorten gibt es charakteristische Tabellenkennwerte und entsprechende Einstellmöglichkeiten an den jeweiligen Messgeräten. Die Angabe erfolgt bei der Holzfeuchtemessung in Masse-%.



Grafik: Zimmermann

Messprinzip:
Die Messung erfolgt in Anlehnung an die DIN EN 13183-2. Die Nadeln quer zur Faserrichtung in das Messstück einstechen. Beste Messergebnisse erzielt man bei einer Messtiefe von circa 1/3 der Materialdicke. Der Messabstand von den Materialenden sollte wenn möglich > 50 cm betragen.

Innerhalb unserer Gebäude stellt sich in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur und der relativen Feuchtigkeit eine mittlere Holzfeuchte ein. Aus diesem Grund können anhand der Holzfeuchte bei einer entsprechenden Raumlufttemperatur Rückschlüsse auf die durchschnittlich herrschende relative Luftfeuchtigkeit gezogen werden (siehe Tabelle 1).

TABELLE 1

	Lufttemperatur in °C				
Relative Luftfeuchte %	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
40 %	7,9 %	7,8 %	7,7 %	7,5 %	7,5 %
50 %	9,4 %	9,3 %	**9,2 %**	9,0 %	9,0 %
60 %	11,1 %	11,0 %	10,8 %	10,6 %	10,5 %
70 %	13,3 %	13,2 %	13,0 %	12,8 %	12,6 %
80 %	16,2 %	16,3 %	**16,0 %**	15,8 %	15,6 %
90 %	21,2 %	20,8 %	20,6 %	20,3 %	20,1 %
	Holzfeuchte in Masse-%				

Der natürliche Datenlogger Holz im Haus

Tabelle: Zimmermann

Bei unserer normativ vorgegebenen Lufttemperatur von 20°C und der dazugehörigen Luftfeuchte von 50 % beträgt die Holzfeuchte in etwa 9,2%. Bei einer Holzfeuchtigkeit 16 %, gleiche Raumtemperatur vorausgesetzt, kann von einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit von 80 % der letzten Tage ausgegangen werden. Für alle anderen Baustoffe dient die elektrische Widerstandsmessung lediglich als orientierende Messung für den Feuchtigkeitsvergleich gleicher Materialien.

Fotos: Zimmermann

Für orientierende Messungen werden immer „trockene Messpunkte“ zur Referenz benötigt.

Fazit: Salzeinlagerungen in Baustoffen und Metalle führen zu falschen Messergebnissen. Bei Flach- und Rundelektroden ist auf eine unbeschädigte Isolierung zu achten. Die ersten 2 cm sollten jedoch unisoliert bleiben. Dieses Messverfahren ist sehr einfach durchzuführen und liefert bei der Holzfeuchtemessung genaue Ergebnisse.

Die dielektrische Feuchtemessung

Bei dem „zerstörungsfreien“ dielektrischen Messverfahren wird die dielektrische Materialeigenschaft und nicht der Wassergehalt der Baustoffe ermittelt. Der Wert der Dielektrizitätskonstante eines Materials verändert sich mit der Feuchtigkeitsanreicherung. Mittels eines eingebauten Kondensators wird die Dielektrizitätskonstante des zu untersuchenden Baustoffes ermittelt. Ein Kondensator besteht aus zwei stromführenden, sich aber nicht berührenden gegenüberliegenden Platten. Wird an beiden Platten eine Spannung angelegt, entsteht eine positive und eine negative Aufladung an beiden Platten. Es bildet sich ein elektrisches Feld. Nachdem es seine volle Stärke aufgebaut hat, bleibt es konstant. Bei Kugelkopfmessgeräten bildet sich ein Messfeld zwischen dem aktiven Kugelkopf und dem zu messenden Untergrund aus. Die Möglichkeit der Speicherung von Energie in einem elektrischen Feld eines Kondensators wird Kapazität genannt. Die Kapazität erhöht sich mit der Vergrößerung der beiden Kondensatorplatten bei gleichzeitiger Verringerung des Abstands untereinander. Auch die Materialeigenschaft für die Trennung der beiden Platten, das sogenannte Dielektrikum, verändert die Kapazität. Die Dielektrizitätskonstante von Wasser ist circa 80-mal größer als die von Luft und mindestens zehn mal größer als die von einem mineralischen Baustoff. Mit zunehmender Materialfeuchte steigt die Dielektrizitätskonstante. Durch Messung der Kapazität des Kondensators erhält man den Wert der Dielektrizitätskonstante. Dadurch lässt sich Wasser in Baustoffen

Anzeige

Firestone
BUILDING PRODUCTS
NOBODY COVERS YOU BETTER.™

Die Firestone UltraPly™ FPO Dachbahn

Dank besonderer Rezeptur der Firestone UltraPly™ FPO Dachbahn ermöglicht diese ein sehr großes Schweißfenster unter wechselnden Witterungsbedingungen. Firestone UltraPly™ FPO wurde bereits weltweit auf 300 Millionen Quadratmetern Dachfläche verlegt.

BAU 2017
16.–21. Januar · München

Besuchen Sie uns: **Halle A3, Stand 520**

www.firestonebpe.de • info@fbpe.de

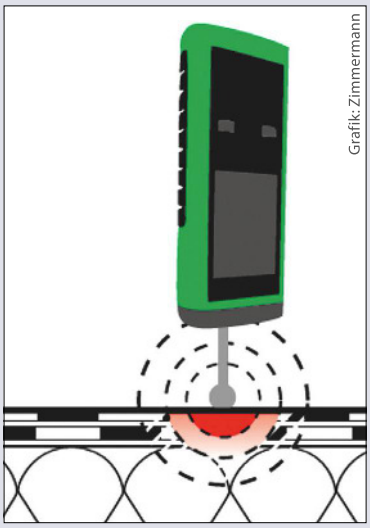
PRAXIS-TIPP

- Die Ergebnisse aus den verschiedenen Materialfeuchtigkeitsmessungen sind nur ein Teil der gesamten Schadensdiagnostik. Wichtig ist auch die Interpretation und Beurteilung der gewonnenen Erkenntnisse aus den einzelnen Messungen. Alle Messergebnisse sind grundsätzlich auf Plausibilität zu hinterfragen.
- Die Messung der Lufttemperatur, der dazugehörigen Luftfeuchtigkeit, die Holzfeuchtemessung sowie eine stichprobenartige Überprüfung der Materialfeuchtigkeit sollte jeder Dachdecker selbst vornehmen können. Dabei kann man sich für die Anschaffung von verschiedenen Einzelmessgeräten oder eines Multifunktionsmessgeräts mit den verschiedenen Messköpfen entscheiden. Ein Holzfeuchtemessgerät mit entsprechenden Dokumentationsunterlagen gehört in jedem Fall in die Hand eines für den Holzbau verantwortlichen Vorarbeiters auf der Baustelle.

sehr gut nachweisen. Die Angabe der Messwerte erfolgt nicht in Masse-%, sondern meist in der dimensionslosen Einheit „Digit“. Die Rohdichte eines Baustoffes hat einen erheblichen Einfluss auf den angezeigten Wert im Display. Mit steigender Dichte erhöht sich der angezeigte Messwert. Aus diesem Grund können nur vergleichende Messungen mit gleichen Materialien ausgeführt werden. Wichtig ist dabei, so genannte trockene „Referenzwerte“ zu ermitteln und diese mit den eigentlichen Messergebnissen zu vergleichen. Die Messwerte sind als relative Werte zu interpretieren, da bei dieser Messmethode ausschließlich eine Unterscheidung zwischen trockenen, feuchten und nassen Baustoffen getroffen werden kann. Auch können unterschiedliche Messgeräte von verschiedenen Herstellern ungleiche Ergebnisse liefern.

Es empfiehlt sich für wiederholende Baustofffeuchtemessungen, einen eigenen „Referenzkatalog“ mit trockenen Materialmessungen anzulegen.

Fazit: Hierbei handelt es sich um eine sehr einfache und günstige Messmethode, die sehr schnelle und ungenaue Ergebnisse liefert. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sind keine absoluten Feuchtewerte abzuleiten. Die Messmethode ermöglicht den Vergleich gleichartiger Materialien miteinander. Auch Trocknungsprozesse können damit dokumentiert werden. Es sind jedoch Referenzwerte für trockenes Material zu ermitteln. Metalle sowie Salzeinlagerungen in den Baustoffen beeinflussen die Messergebnisse.



Grafik: Zimmermann

- Die Messtiefe beträgt je nach Hersteller circa 30 bis 50 mm.
- Es handelt sich um eine orientierende Messmethode zur Lokalisierung von Feuchteschäden.
- Der Messwert wird durch leitfähige Materialien wie Metalle oder Salzeinlagerungen in den Materialien beeinflusst.
- Es kann nicht durch Luftschichten hindurch gemessen werden.

Abb.: Zimmermann

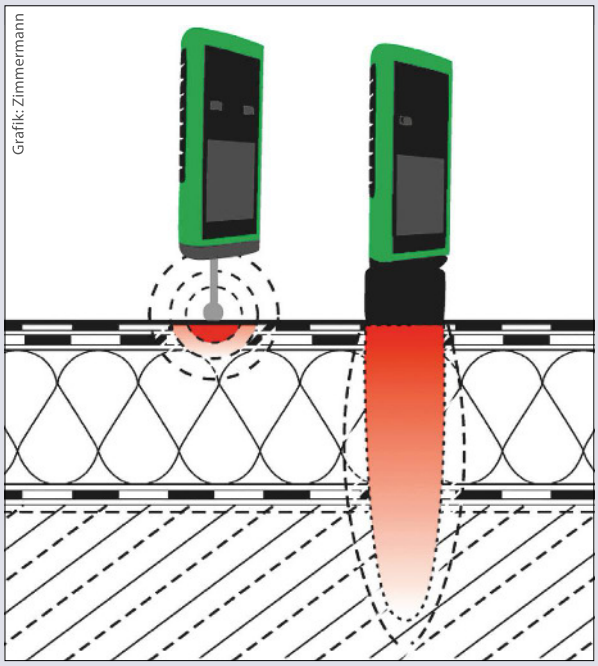
Um die Messergebnisse nicht zu verfälschen, ist auch die richtige Handhabung sehr wichtig. Den Messkopf nie vorn am Griff anfassen, ansonsten sind die Messwerte stark erhöht. Wichtig ist auch ein Messabstand von Rändern und Ecken. Durch die Streufeldmessung kann es zu einer Verdopplung der Ergebnisse kommen.

Das Mikrowellenverfahren

Auch das Mikrowellenverfahren gehört zu der Kategorie der zerstörungsfreien Materialfeuchtemessung. Es handelt sich hierbei ebenfalls um ein dielektrisches Messverfahren. Genau wie bei dem kapazitiven Messverfahren wird die Dielektrizitätskonstante des zu messenden Baustoffes mit der von Wasser verglichen. Die hier zum Einsatz kommenden Frequenzen liegen zwischen 2 und 10 GHz. Bei den verwendeten Messköpfen handelt es sich sinngemäß um Sende- und Empfangsantennen. Je nach Bauart sind Messtiefen von 4 bis 70 cm darstellbar. Der jeweilige Messkopf ist auf die zu messende Baustoffdicke abzustimmen. Die Materialdicke muss mindestens der Messtiefe des Messkopfs entsprechen. Das gilt auch bei mehrschichtigen Wand- und Bodenaufbauten. Bei der Mikrowellenmessung empfiehlt es sich, die zu messende Fläche in sogenannte „Raster" einzuteilen. Anhand einer grafischen Darstellung des Feuchteverlaufs können dann Rückschlüsse auf die eigentliche Quelle und den Ursprung der Auffeuchtung gezogen werden.

Foto: Zimmermann

Grafik: Zimmermann



- Unterschied Mikrowellen- und Kugelkopfmessung
- Unterschiedliche Messtiefe bei dem „normalen" dielektrischen Messverfahren und der Mikrowellenmessung
- Bei der Mikrowellenmessung spielen Salzeinlagerungen in den Baustoffen keine Rolle.
- Metalle beeinflussen die Messung!

Fazit: Vorhandene Salzeinlagerungen in Baustoffen beeinflussen die Messergebnisse nicht. Die Mikrowellenmessung eignet sich auch sehr gut für die Flachdachleckageortung. Anhand einer zuvor festgelegten Rasterung kann durch die grafische Darstellung der Feuchteverlauf ermittelt werden. Durch die unterschiedlichen Messköpfe können auch unterschiedliche Messtiefen erreicht werden. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse können für die Beurteilung des Durchfeuchtungsgrads der Gesamtkonstruktion sehr hilfreich sein.

Suchbegriffe online: www.ddh.de

Sachverständige/-r **Bauphysik** **Feuchtigkeit** **Messtechnik**

Ausblick auf das kommende Thema

In Folge 6 „Messtechnik Luftfeuchtigkeit" geht es um die Möglichkeiten der Überprüfung von Luftfeuchtigkeit durch stationäre und instationäre Messmethoden. //

Autor
Michael Zimmermann ist Dachdeckermeister, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das Dachdeckerhandwerk und EU-zertifizierter Sachverständiger nach ISO 17024 für Schimmelpilzschäden.

Anzeige