

Zerstörungsfreie Feuchtigkeitsmessung mit der Neutronensonde

Bauschäden an Gebäuden treten oft im Zusammenhang mit Feuchtigkeit auf. Dabei stellt sich sofort die Frage, welche Stellen feucht sind und wie gross der Feuchtigkeitsgehalt ist. Der folgend Artikel stellt eine Messmethode vor, die mit Hilfe einer Neutronensonde die Feuchtigkeit in einer Konstruktion zerstörungsfrei lokalisieren kann.

Undichte Flachdächer, aus dem Baugrund aufsteigende Feuchtigkeit, Riss in der Aussenwand, Frostschäden, Überschwemmungen – immer spielt Wasser eine entscheidende Rolle.

Bei den notwendigen Untersuchungen zur Abklärung der Schadensursache und der Sanierungsmöglichkeiten stellt sich oft die Frage, wie viel Wasser in der Konstruktion vorhanden ist und wo es sich befindet. Mit anderen Worten, eine Feuchtigkeitsmessung ist gefragt. Um Feuchtigkeiten in Baustoffen zu messen, gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Verschiedene Feuchtigkeits-Messmethoden

Eine einfache Methode ist die Messung des elektrischen Widerstandes. Diese Methode hat den Nachteil, dass das Resultat nur bei Holz ausreichend genau ist. Hingegen enthalten feuchte mineralische Baustoffe häufig wasserlösliche Salze, welche den elektrischen Widerstand reduzieren, so dass eine zu hohe Materialfeuchte angezeigt wird. Deshalb ist die Ermittlung der Materialfeuchtigkeit bei mineralischen Baustoffen mit der elektrischen Widerstandsmessung nicht zuverlässig.

Ebenfalls zerstörungsfrei messen Verfahren, die auf der Basis von Mikrowellen, der Kapazität des Wassers oder des Emissionswertes der Oberfläche beruhen. Allen diesen Verfahren ist gemeinsam, dass sie von nicht sichtbaren Eigenschaften des Baumaterials verfälscht werden. So gibt z.B. die Mikrowellenmessung bei Hohlräumen im Baustoff unkorrekte Feuchtigkeitswerte an. Die Emissionsmessung (IR-Messung) braucht Temperaturdifferenzen damit etwas sichtbar wird und die Messung der Kapazität ist u.a. abhängig vom Salzgehalt des Baustoffes.

Eine genauere Methode ist die Messung mittels CM-Gerät (Calcium-Karbid-Methode). Dazu muss aber entweder Material herausgebohrt oder herausgespitzt werden, was eine Zerstörung zur Folge hat. Zudem dauert eine Messung ca. 15 – 20 Minuten, was die Anzahl der Messungen schon vom Aufwand her einschränkt.

Am genauesten kann der Feuchtigkeitsgehalt mit der Darmmethode festgestellt werden, bei der wie bei der CM-Methode eine gewisse Menge des Baustoffes entfernt wird. Im Labor wird das Material gewogen, getrocknet und wieder gewogen. Aus der Gewichts Differenz wird danach der ursprüngliche Feuchtigkeitsgehalt berechnet. Man bekommt auf diese Art sehr genaue Werte. Diese stimmen aber nur gerade für die Stellen, wo die Materialproben entnommen wurden. Auch diese Methode ist nicht zerstörungsfrei, weshalb man die Anzahl von Probeöffnungen oft einschränkt. Zudem dauert es 1 bis 4 Tage (je nach Material) bis das Resultat bekannt ist.

Die Zerstörung der Bauteile bei der Probeentnahme ist ein grosses Handicap. Ein anderes Problem kann darin bestehen, dass man die feuchten Stellen nicht immer von Auge erkennen kann, so dass die Materialproben zufällig und somit eventuell an den falschen Stellen entnommen werden. In solchen Fällen ist die Neutronensonde ein hervorragendes Hilfsmittel. Es ist ein handliches, 4 kg schweres Messgerät, das schnell (7.5 - 60 Sekunden pro Messung) in der Lage ist, Feuchtigkeit aufzufinden, die unsichtbar innerhalb einer Konstruktion vorhanden ist (vgl. Bild 1).



Bild 1

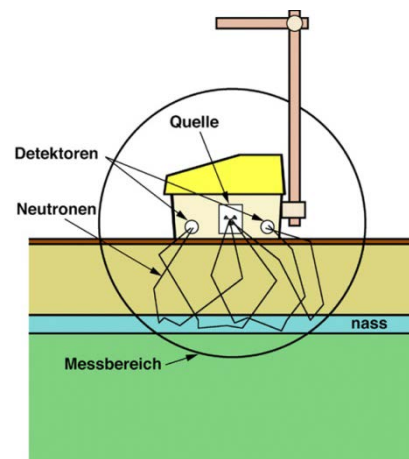


Bild 2

Wie funktioniert die Neutronensonde?

Das Verfahren basiert auf folgendem kernphysikalischen Effekt:

Das Messgerät erzeugt mit Hilfe einer radioaktiven Quelle Neutronen von hoher kinetischer Energie und strahlt diese in das zu prüfende Material. Dort stossen die anfänglich ‚schnellen‘ Neutronen (Anfangsgeschwindigkeit ca. 30'000 km/s) mit den Atomen des Materials zusammen. Dabei werden sie zu ‚langsamen‘ Neutronen von ca. 2.2 km/s abgebremst.

Die Bremswirkung ist beim Zusammenstoss mit Wasserstoffatomen besonders gross, weil diese praktisch die gleiche Masse wie ein Neutron besitzen. Die ‚schnellen‘ Neutronen werden nach durchschnittlich 19 Zusammenstössen mit Wasserstoffatomen in ‚langsame‘ Neutronen umgewandelt. Der Bremsweg kann mit dem Zick-Zack-Kurs einer Billardkugel verglichen werden. Dabei wird die Bewegung auch in die Gegenrichtung umgelenkt, so dass ein Teil der ‚langsamen‘ Neutronen aus der Materie wieder austritt und auf das Messgerät trifft.

Die Neutronensonde besteht deshalb aus einem Erzeuger von ‚schnellen‘ Neutronen (Americium-241 und Beryllium) und zwei Detektoren für ‚langsame‘ Neutronen (Heliumrohre) (vgl. Bild 2). Die Dichte der reflektierten ‚langsamen‘ Neutronen wird im Gerät ermittelt und elektronisch in eine dimensionslose Zahl umgewandelt und angezeigt. Diese kann je nach Konstruktion und Feuchtigkeitsgehalt zwischen 5 und 150 variieren.

Die Reichweite des Gerätes (Tiefenwirkung) hängt von der Feuchtigkeit ab. In eher trockenem Material liegt sie bei ca. 30 cm, bei hoher Feuchtigkeit ist die Messtiefe ca. 10 cm.

Einschränkungen der Methode

Aus der Funktionsweise des Gerätes ist ersichtlich, dass die Dichte der Wasserstoff-Atom-Verteilung gemessen wird. Diese ist aber nicht identisch mit der Materialfeuchtigkeit. Die gemessene Wasserstoff-Dichte setzt sich aus zwei Hauptteilen zusammen, einem Basiswert, herrührend von chemisch gebundenem Wasserstoff in den Baumaterialien und der Materialfeuchte (Ausgleichsfeuchte plus freies Wasser). Nur der veränderliche Anteil der Messwerte stammt aus dem freien Wasser. Daraus folgt, dass die Feuchtigkeit umso höher ist, je höher der angezeigte Wert über dem für jede Konstruktion individuellen Basiswert liegt.

Die Neutronensonde ist deshalb hervorragend geeignet, um in einer grossflächigen Konstruktion, z.B. einem Flachdach, versteckte Feuchtzonen aufzuspüren. Es ist auch möglich, innerhalb von feuchten Zonen zwischen feucht und weniger feucht zu unterscheiden. Wichtig ist, dass nur immer gleiche Konstruktionen miteinander verglichen werden können. Es ist also nicht zulässig, die Werte z.B. von einem Flachdach mit Bitumen-Abdichtungen und Kork-Wärmedämmung mit einem solchen mit Kunststoffabdichtung und Kunststoff-Wärmedämmung zu vergleichen.

Im Weiteren ist wichtig, dass die Messungen von einem erfahrenen Fachmann durchgeführt werden. Er muss in der Lage sein, Störfaktoren zu erkennen und zu berücksichtigen. Typische Störfaktoren sind beispielsweise der Einfluss von Kristallwasser in mineralisch gebundenen Baustoffen (z.B. Beton, Mörtel etc.) Wasserstoffatome im Grundmaterial (z.B. Kunststoffe, Kork, Holz) und der Einfluss von Bauteilen, die in Reichweite des Messgerätes liegen, usw.

Praktische Anwendung

Im Allgemeinen wird mit dem Gerät zuerst das Bauteil rasterförmig ausgemessen und die Feuchtigkeitsverteilung in der Fläche festgestellt. Wenn genaue Materialfeuchtigkeiten zu ermitteln sind, werden anschliessend gezielt Proben entnommen, an denen im Darrverfahren die absolute exakte Feuchtigkeit gemessen wird. Die Proben werden an Stellen entnommen, die einen hohen Wert, einen mittleren Wert und einen tiefen Wert angezeigt haben. Mit den nach dem Darrverfahren ermittelten exakten Feuchtigkeitswerten können dann die übrigen Zählwerte der Neutronensonde durch Interpolation einer bestimmten Materialfeuchtigkeit zugeordnet werden.

Eine zweite Methode, die eine grosse Anzahl von Messwerten mit der Neutronensonde voraussetzt (>100 Messwerte), basiert auf der Statistik. Dabei wird ein Histogramm der Messwerte erstellt. Daraus werden der Mittelwert und die Standard-Abweichung berechnet. Die trockenen Werte liegen zu 99.7 % innerhalb der Glockenkurve der Normalverteilung, deren Ende beim Mittelwert plus/minus 3x die Standardabweichung liegt. Diese Methode wird eher selten angewendet. Sie ist jedoch dann sinnvoll, wenn aus bestimmten Gründen keine Materialproben entnommen werden können und eine grosse Zahl von Messungen möglich ist.

Beispiel Flachdach

In einer Wohnung unter dem Flachdach eines 2-Familien-Hauses wurden im November Wassereinträge bemängelt. Das Flachdach bestand aus einer Betondecke, Dampfsperre, 2x 3 cm Kork und einer 3-lagigen bituminösen Abdichtung. Als Schutzschicht waren 2 cm Sand und 4 cm Kies eingebaut. Der Dachdecker hatte als Sofortmassnahme die Schutzschicht abgeräumt und die ganze Fläche mit einer zusätzlichen Bitumenbahn überzogen. Im Frühling wurde der Experte beauftragt, die Feuchtigkeit in der Wärmedämmung bezüglich Feuchtigkeit zu beurteilen und eine eventuelle Sanierung vorzuschlagen.

Das relativ kleine Dach wurde mit der Neutronensonde im Raster von einem Meter ausgemessen (vgl. Bild 3). Zusätzlich wurden an 4 Stellen Probeöffnungen gemacht und Korkproben entnommen. An diesen wurde im Labor im Darrverfahren der genaue

Feuchtigkeitsgehalt gemessen und mit den Messwerten der Neutronensonde verglichen. Dabei zeigte sich, dass Messwerte die über 53 lagen einer Materialfeuchte der Wärmedämmung von über 5 Vol.-% Feuchtigkeit entsprachen. Dieser Wert stellt den Grenzwert dar, über dem Wärmedämmungen in Flachdächern ausgewechselt werden müssen. Die Betroffenen Bereiche wurden in den Grundriss eingezeichnet, womit die zu sanierenden Stellen flächenmässig und örtlich erfasst waren (vgl. Bild 4).



Bild 3

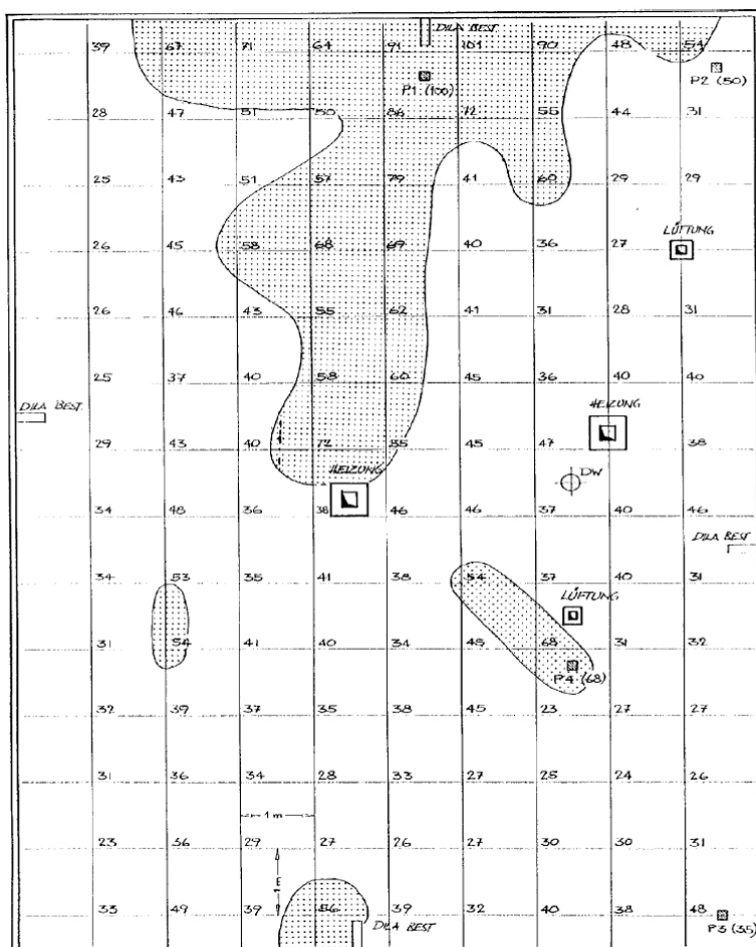


Bild 4

Beispiel Wand

An der Westfassade eines Einfamilienhauses löste sich einige Jahre nach der Fertigstellung der Verputz vom Porenbetonmauerwerk. Die Ablösestellen lagen im Wesentlichen über einem Vordach. Dahinter war ein Badezimmer mit Dusche an der Aussenwand eingebaut. Infolge eines undichten Anschlusses des Vordaches an die Aussenwand sowie wegen fehlerhafter Kittfugen in der Duschwanne wurde das Porenbetonmauerwerk durchfeuchtet. Die Ausdehnung der Durchfeuchtung wurde anhand von Messungen mit der Neutronensonde abgegrenzt. Dabei wurde zugleich festgestellt, dass einzelne Fensterbank-Anschlüsse undicht waren.

Beispiel Unterlagsboden

In einem Gymnastikraum löste sich der Bodenbelag vom Unterlagsboden ab. Darauf wurde der Belag vom Bodenleger entfernt und die Feuchtigkeit im Unterlagsboden gemessen. Dies ergab einen unerklärlich hohen Wert. Trotz längerer Austrocknung sank der Wert nicht auf den nach den SIA-Normen geforderten Feuchtigkeitsgehalt von 1.5 M-%. Messungen mit der Neutronensonde ergaben Zählwerte zwischen 19 und 26. Probenahmen ergaben Materialfeuchtigkeiten von 4,4 M-% an der feuchtesten Stelle und 2.1 M-% an der trockensten Stelle.

Eine Kontrolle der Anschlüsse ergab, dass Wasser unter der Aussenwand hindurch eindringen und in den Unterlagsboden gelangen konnte.

Weitere Möglichkeiten

Nach Durchfeuchtungen von Unterlagsböden infolge Leitungsbrüchen, Überschwemmungen usw. kann mit der Neutronensonde sehr gut das Ausmass der geschädigten Bereiche und beim Austrocknen der zeitliche Verlauf der Austrocknung gemessen werden. Dazu wird vor der Austrocknung der Boden rasterförmig ausgemessen. Während des Austrocknens werden die gleichen Stellen erneut gemessen, was den Erfolg der Trocknung verfolgen lässt.

Ähnliches gilt für Wände, die infolge Rissen oder anderer Ursachen durchfeuchtet worden sind. Auch hier lässt sich der Austrocknungsfortschritt durch periodisches Messen sehr gut dokumentieren.

Die Messung mit der Neutronensonde ist die einzige Methode, die immer an der gleichen Stelle eine Feuchtigkeitsveränderung in der Tiefe der Konstruktion messen kann.

Schlussbemerkungen

Die beschriebene Neutronensonde hat der Experte seit Mitte 1989 im Einsatz. Dabei hat sie sich bei folgenden Situationen besonders bewährt:

Bei Bauschäden:

Ermittlung der Schadenursachen und des Umfanges der Schäden.

Bei Wasserschäden:

Feststellen der tatsächlich geschädigten Bereiche bei Leitungsbrüchen usw. zuhanden von Versicherungen; Kontrolle des Erfolges von Austrocknungsmassnahmen.

Bei Renovationen:

Rasche und präzise Erfassung des Feuchtezustandes von Flachdächern, Fassaden und Böden als Entscheidungshilfe für Sanierungsmassnahmen.

Literaturhinweise:

- „Lokalisieren von Wasserinfiltrationen in Flachdächern mit der Neutronensonde“ EMPA Merkblatt, Abt. 112
- „Industrieller Einsatz von Neutronenfeuchtemessungen“, Dipl. Ing. F.J. Brown, Dipl. Phys. M. Harnisch, Bauakademie der DDR, Weimar; ÖIAZ 1984 / Heft 9; S. 313 - 316
- „Zur Bestimmung der Feuchtigkeit in Baustoffen mit Hilfe von Neutronen“; Dipl. Phys. P. Mlitz und Dr. R. Neider, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) Berlin; Die Bautechnik 3/1967; S.77-81
- Roof-Reader Handbuch: Troxler Electronic Laboratories Inc.; Research Triangel Parc, N.C., 27709; U.S.A.
- „Methoden zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes in porösen Werkstoffen des Bauwesens“ K. Pensl und F.H. Wittmann, ETH Lausanne, B+B /6.Jahrgang Nr. 4-1983; S. 135 – 143 Bild 6

Roland Büchli
Dipl. Arch. HTL/SIA
Zertifizierter Gerichtsexperte SEC
Geschäftsführer der QC-Expert AG
Kriesbachstrasse 42, 8600 Dübendorf
www.qc-expert.ch

Dübendorf, im Oktober 2008