

HAWK - HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFT UND KUNST

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Baukonstruktion und Bauphysik in der Fakultät Bauwesen in Hildesheim

Vorlesungsskripte zur Bauphysik Masterstudium

Messen in der Bauphysik

Feuchte- und Temperaturmessung

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	2
2	Die Temperaturmessung	2
2.1.1	Das Globe- Thermometer	3
2.1.2	Hinweise zum durchführen einer Lufttemperaturmessung	3
2.1.3	berührende Messmethoden	4
2.1.4	berührungslose Messung.....	6
3	Die Feuchtemessung	7
3.1	Auswirkungen von erhöhter Feuchtigkeit	7
3.2	Die Meßgröße Feuchtigkeit.....	7
3.3	Anforderungen an Feuchtemessverfahren	7
3.4	Messverfahren zur Feuchtemessung	8
3.4.1	Gravimetrische Methode	8
3.4.2	Chemische Methoden	8
3.4.3	Weitere Verfahren zur Materialfeuchtemessung	9
3.4.4	dielektrisches Feuchtemeßgerät	10
3.4.5	Elektrische Widerstandsmessung	10
3.4.6	Feuchtemessung mit Thermografie	11
3.4.7	Mikrowellen-Reflexion und Radar	12
4	Quellenverzeichnis	13

1 Einleitung

Zahlreiche juristische Verfahren am Ende der Heizperiode machen eine Aufklärung der Schadenursache bei Feuchteschäden unabdingbar. Hier müssen die Ursachen gefunden werden, um so die Schuldfrage klären zu können. Daher ist es für einen Sachverständigen erforderlich, die zur Urteilsfindung notwendigen Beweise zu liefern.

Feuchteschäden können durch eindringendes Wasser oder von Oberflächenkondensation verursacht sein. Hierbei ist die Bestimmung der Art des Feuchteschadens durch Kondensation dadurch zu erkennen, dass die Feuchteverteilung mit der Temperaturverteilung an der betroffenen Oberfläche übereinstimmt. Im Gegensatz dazu ist eindringendes und durch Kapillarwirkung verbreitendes Wasser von der Temperaturverteilung weitgehend unabhängig. Einen Kondenswasserschaden von einem Durchfeuchtungsschaden zu unterscheiden, ist daher nicht schwer.

Weiterhin sind vermehrt auftretende Feuchtschäden an Gebäuden oft dadurch begründet, dass nach einer Modernisierung gemäß ENEV unplanmäßige Wärmeverluste nicht durch Leistungsreserven der Heizungsanlagen ausgeglichen werden können. So kommt es bei niedrigen Außentemperaturen zu einer nicht ausreichenden Beheizbarkeit von Gebäudeteilen mit der Folge von Bauschäden, wie Schimmelpilz oder Tauwasserbildung. Oft ist auch ein nicht angepasstes Nutzerverhalten an veränderte Randbedingungen durch Modernisierung Ursache zahlreicher Schäden.

2 Die Temperaturmessung

Messverfahren zur Lufttemperatur

Die Messung der Lufttemperatur ist eine grundlegende Messaufgabe. Sie kommt zum tragen bei der Kontrolle von Beheizung und Belüftung aber auch bei der Beurteilung von Behaglichkeit und Schimmelschäden. Gemessen wird stets die tatsächliche Temperatur der Luft, unabhängig davon, ob sie stehend oder bewegt ist, obwohl sie unterschiedlich empfunden werden. Ebenso wichtig ist es die Ansprechzeit des Messgerätes zu berücksichtigen genauso wie es vor strahlenden Körpern zu schützen um eine möglichst hohe Messgenauigkeit zu erreichen.



Abbildung 2-1 Bestandteile eines Messgerätes

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Lufttemperaturmessung. Weit verbreitet ist die Messung mit einem temperaturabhängigen elektrischen Widerstand und die Messung mit einem Thermoelement. Dieses Thermoelement erzeugt abhängig von der Temperatur eine elektrische Spannung. Das Messgerät erkennt immer nur

die Temperatur des Sensors, aber nicht die Temperatur des Mediums. Wird eine abgekühlte Sonde in den zu messenden Raum gebracht, benötigt sie stilliegend ca. 10 Minuten Zeit zur Angleichung an die Raumtemperatur. Dabei ist die eigentliche träge Masse das Fühlergehäuse nicht der Sensor, da das Fühlergehäuse den Sensor durch Wärmestrahlung beeinflusst.

Die Genauigkeit liegt bei Standardfühlern bei ca. $\pm 0,4\text{K}$, die Ansprechzeiten des bewegten Fühlers bei ca. 30 Sek.

2.1.1 Das Globe- Thermometer

Behaglichkeitsmessungen werden mit einem Globe- Thermometer durchgeführt. Diese wird nicht bewegt, sondern mit einem Stativ unbeweglich platziert, und zwar in drei festgelegten Höhen, die in der DIN 1946-2 bzw. in der VDI 2080 beschrieben sind. Das Globe- Thermometer besteht aus einer mattschwarz lackierten, hohlen Kugel.



Abbildung 2-2 Globe- Thermometer

Der eigentliche Messaufnehmer ist in der Kugel positioniert. Einfallende Wärmestrahlung (z.B. Sonneneinstrahlung) bewirkt eine Erwärmung der Kugel, so wie es der menschliche Körper als Erwärmung erfahren würde. Das Messergebnis kommt der menschlichen Durchschnittsempfindung recht nahe, wobei die Einstufung der Messwerte auf empirische Untersuchungen mit vielen Testpersonen beruht. Das Globe- Thermometer lässt allerdings nicht erkennen, ob die Strahlung rundum gleichmäßig war oder einseitig auf die Kugel traf. Für die Behaglichkeit macht das bekanntlich einen eklatanten Unterschied. Die Temperaturdaten werden mit Hilfe eines so genannten Datenloggers aufgezeichnet.

2.1.2 Hinweise zum durchführen einer Lufttemperaturmessung

- ungefähr in Raummitte
- in Brusthöhe
- starke strahlungsquellen mit dem Körper abschirmen
- mit ausgestreckten Arm seitlich vom Körper
- aus dem Handgelenk schwenken. An zustreben sin ca. 1,5 m/s, das entspricht in etwa zwei „Schwenks“ pro Sekunde



Abbildung 2-3 richtige Handhaltung bei der Messung der Lufttemperatur

Messverfahren zur Materialtemperatur

Die Materialtemperatur kann gemessen werden mit dem Messprinzip der berührenden Messung oder berührungslosen Messung erfolgen.



Abbildung 2-4 Übersicht über Messgrößen und Bauform

2.1.3 berührende Messmethoden

Bei der berührenden Messung funktioniert nach dem Prinzip, dass der Fühler die Temperatur des zu messenden Mediums annimmt. Die Genauigkeit der Messung hängt davon ab wie gut der Kontakt zwischen Medium und Fühler hergestellt werden kann. Da der Fühler in der Regel nur an der Oberfläche des Festkörpers aufsitzt, ist ein inniger Kontakt mit einer ausreichend großen Auflagefläche nötig. Diese Auflagefläche sollte sich der Oberflächenkontur vollständig anpassen. Das aufzusetzende Teil sollte zudem wenig Masse aufweisen, um sich schnell anzugleichen. Die gemessene Temperatur ist immer eine Mischtemperatur, da die Miteinbeziehung der Lufttemperatur unvermeidbar ist. Die Genauigkeiten sind in der Regel geringer als bei der Messung von Lufttemperaturen.



Abbildung 2-5 Federbandfühler

Federbandfühler eignen sich zur Messung auf Untergründen wie Tapeten, Putze, Steine oder Beton. Ist die Oberfläche sehr rau, z. B. Rauputz, kann der Wärmeübergang mit einer Wärmeleitpaste verbessert werden. Die Angleichzeit bei Federbandfühlern ist bei schlechten Wärmeleitern prinzipiell länger und kann bis ca. 10 Sekunden dauern.

Die Genauigkeit bei Federbandfühlern beträgt beispielsweise für raumübliche Temperaturen $\pm 2,5\text{K}$ als Standard.

Auch bei Messungen der Oberflächentemperatur gibt es die Möglichkeit der Langzeitaufzeichnung. In der gutachterlichen Praxis wird dieses vor allem für die Schimmelbeurteilung benötigt oder in der Forschung bei der Ermittlung Aufheizverhalten. Hierbei spielt die Angleichzeit praktisch keine Rolle. Wichtiger ist hier, dass sich ein Fühler fest verankern lässt.

Für diesen Anwendungsfall gibt es Plättchenfüller. Sie sind etwa $1,5 \times 4 \text{ cm}$ groß und werden mit Wärmeleitpaste versehen und mit zwei kleinen Nägeln fixiert. Die Rückseite sollte mit einem kleinen Styroporstück gegen Wärmestrahlung und Luftumspülung des Raumes abgeschirmt.

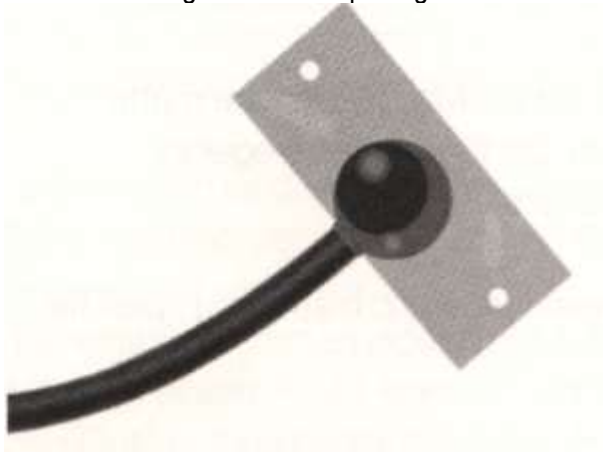


Abbildung 2-6 Plättchenfühler

Die erzielbare Genauigkeit ist hier Weitaus besser als beim Aufsatzfühler. Sie liegt für das Plättchen selbst bei $\pm 0,5\text{K}$ und ist für Taubeurteilungen ausreichend.

2.1.4 berührungslose Messung

Alle Körper, die wärmer als der absolute Nullpunkt ($-273^{\circ}\text{C} = 0$ Kelvin), geben Wärmestrahlung ab. Sie wird auch als Infrarotstrahlung bezeichnet.

Infrarotstrahlung ist langwellig ($> 770\text{nm}$ Wellenlänge) und damit in einem Spektralbereich, den das menschliche Auge nicht erfasst. Je höher die Frequenz, gleichbedeutend mit kürzerer Wellenlänge, desto energiereicher ist die Strahlung. Sie lässt sich mit Sensoren auffangen. Die Intensität (Leistung) der Wärmestrahlung ist ein Maß für die Temperatur des abstrahlenden Körpers. Die meisten Stoffe weisen ein sauberes Abstrahlungsverhalten auf. Entscheidend ist, ob der Körper an der Oberfläche wirklich nur seine Eigenenergie abstrahlt, oder ob er einen nennenswerten Anteil der Umgebungs- Wärmestrahlung reflektiert. Welchen Anteil die Reflexionsstrahlung hat, wird mit dem Emissionsgrad ϵ beschrieben. Zu beachten ist, dass die reflektive oder transparente Eigenschaft eines Körpers sich bei Wärmestrahlung anders verhalten kann als bei Licht. Was für das Auge transparent ist kann z. B. für ein Messgerät eine matte Scheibe sein. In der Regel sind aber Flächen, die fürs Auge spiegelnd erscheinen, auch für die Infrarotmessung kritisch.

Der richtige Emissionsgrad ist für die Genauigkeit der Messung entscheidend. Er liegt für die meisten matten Baustoffe bei $0,93 \dots 0,95$. Der Emissionsgrad lässt sich bei den meisten Geräten, je nach Preisklasse, einstellen. Handgeräte machen ein- Punkt- Messungen, und zwar in der Regel nicht auf einen Punkt, sondern auf einem kreisrunden Fleck. Dieser ist durch den Optikaufbau bedingt. Über die Messfleckfläche wird ein Temperaturmittelwert gebildet. Die Handgeräte markieren den Messfleck durch einen Laserstrahl.

Die zu messende Oberfläche soll möglichst rechtwinklig betrachtet werden. Das Messgerät sollte seitlich vom eigenen Körper gehalten werden, damit die reflektierende Strahlung der Körperwärme das Gerät nicht erreichen kann. Sehr flache Betrachtungswinkel beeinträchtigen nicht nur die Genauigkeit, sondern führen auch zu einem verzerrten, ovalen Messfleck.

Infrarotmessung		Berührungsmessung	
Kriterium	ggf. Abhilfe	Kriterium	ggf. Abhilfe
Emissionsfaktor richtig eingeschätzt?	Richtigen Wert aus Handbuch suchen und einstellen	Oberfläche uneben? Ist der Fühler genügend Auflagefläche?	Geeigneten Fühler wählen
"Zuverlässige" Oberfläche?	Bei Metallen, eloxierten Flächen, spiegelnden Flächen mattes Klebeband fest anreiben	Oberfläche rau? Engschlossene Luftschicht?	Wärmeleitpaste einsetzen
Starke Hintergrundstrahlung (Glühlampe, Schmelzofen, kleiner Winterimmo)?	Mit eigenem Körper, Pappdeckel oder Regenschirm abschirmen	Sensortyp generell zu ungenau?	Anderes Prinzip des Messwertaufnehmers wählen; andere Genauigkeitsklasse wählen; Einzelkalibrierung
Linse beschlagen? Gerät raumtemperiert?	Abwarten	Fühler und Handgerät raumtemperiert?	Abwarten
Messfleck größer als Messobjekt? Größe des Messflecks bekannt?	Größe aus Bedienungsanleitung ermitteln oder Gerät mit Laseranzeige verwenden	Sonde an falscher Stelle erwärmt?	Sonde nur am Handgriff halten, nicht am Stecker und nicht am Schalt; Plättchenfühler raumseitig "dämmen"
Staub oder sonstiger inhomogener Film auf Messobjekt? Messobjekt beschlagen?	Reinigen	Messwert stabil?	Temperatur abwarten; zuverlässigere Auflagefläche suchen; Vorkantung beim Aufsetzen vermeiden; Gerät checken
Keine Reproduzierbarkeit? Starke Abweichungen zwischen nahe beisammen liegenden Messstellen?	Keine homogene Oberflächeneigenschaft! Klebeband einsetzen	Keine Reproduzierbarkeit? Starke Abweichungen zwischen nahe beisammen liegenden Messstellen?	Keine homogene Oberflächeneigenschaft oder Kontaktfläche! Lötpaste einsetzen

Abbildung 2-7 Wichtige Kriterien zur Einhaltung der Messgenauigkeit

3 Die Feuchtemessung

3.1 Auswirkungen von erhöhter Feuchtigkeit

Der Feuchtegehalt eines Materials ist immer eine wichtige Größe, die sein Verhalten stark beeinflusst. Folgende Materialeigenschaften werden durch zu hohen Feuchtegehalt nachteilig beeinträchtigt.

- Zerstörung der Mörtelgefüges und Abminderung der Tragfähigkeit
- Volumenveränderung durch eingelagerte Schadstoffe und daher Abplatzungen von Putzen und anderen Beschichtungen
- Verschlechterung der Wärmedämmeigenschaften verbunden mit Tauwasserausfall und erhöhter Frostgefahr
- Erhöhte Feuchtigkeit ist Bedingung für die Entstehung von Schimmelpilz, Schwamm und Algen
- Erheblichen Beeinträchtigung des hygienischen Raumklimas
- Korrosionsschäden

3.2 Die Meßgröße Feuchtigkeit

Neben Schnee, Schlagregen und Nebel sind Stauwasser und Sickerwasser als Feuchteeinwirkungen auf Baustoffe zu nennen. Die Aufnahme von flüssigem Wasser erfolgt zum größten Teil über kapillare Saugkräfte, die im wesentlichen von der Ausbildung der Poren, d.h. Porengröße, Porenform und Porenanteil beeinflusst werden. Feuchtigkeit wird in den Kapillarporen durch Erzeugung eines Unterdruckes in den Baustoff nach oben gesogen. Je feiner die Poren sind, umso höher kann das Wasser im Baustoff steigen, es wird allerdings auch langsamer transportiert, da die Reibung zunimmt. Bei großem Porendurchmesser ist eine geringe Steighöhe festzustellen, da die kapillaren Saugkräfte mit zunehmendem Porenradius abnehmen. Dieses aufgenommene Wasser bezeichnet man als *freies ungebundenes Wasser*.

Übliche Baustoffe sind kapillar-poröse Stoffe, die auch in trockenem Zustand einen gewissen Feuchtegehalt aufweisen. Es handelt sich dabei um *chemisch gebundenes Wasser*, dass als fester Bestandteil des Baustoffes anzusehen und für die praktische Feuchtemessung ohne Bedeutung ist. Ein Baustoff ist daher dann als trocken anzusehen wenn beim Trocknen sich eine Gewichtskonstanz einstellt. Die Trocknungstemperatur muss baustoffabhängig so gewählt werden, dass chemisch gebundenes Wasser nicht gelöst wird.

Neben der Messung des Feuchtegehaltes ist auch die Salzbelastung des Bauteiles sowie die hygroskopische Wasseraufnahme und Kapillarkondensation von entscheidender Bedeutung für die Beurteilung feuchter Wände. Somit macht eine Sanierung durch aufwendige Abdichtungsmaßnahmen erst Sinn, wenn Art, Höhe und Verteilung der Versalzung im Labor untersucht wurden. ^{1; 2}

3.3 Anforderungen an Feuchtemessverfahren

Die klassische Feuchtemessung besteht oft aus zerstörenden Verfahren, die eine Probenentnahme auf der Baustelle erfordert. Weitere Prüfungen dieser Probe sind danach im Labor durchzuführen. Diese Prüfung wird als **direktes Verfahren** bezeichnet, da dem Material Wasser entzogen und dessen Menge bestimmt wird.

So ist eine Anforderung an Feuchtmesser die klassische direkte Methode zu ersetzen und vor Ort eine zuverlässige Aussage über den tatsächlich vorhandenen Feuchtegehalt zu geben.

Weitere Forderungen an sog. **indirekte Verfahren** sind Zuverlässigkeit, Schnelligkeit, Sicherheit und Genauigkeit. Grundlage dieser Messungen ist der Zusammenhang zwischen der Materialfeuchte und der gemessenen physikalischen Größe, die bereits bekannt sein oder experimentell ermittelt werden muss. Als Vergleichsmessung wird meist die gravimetrische Methode angewandt. Allerdings ist der ermittelte Zusammenhang auch eine weitere Fehlerquelle. Dennoch können die indirekten Messmethoden zerstörungsfrei, teilweise ohne Entnahme von Probekörpern und / oder berührungslos angewendet werden und eröffnen so ein weites Feld an Anwendungsmöglichkeiten.³

3.4 Messverfahren zur Feuchtemessung

3.4.1 Gravimetrische Methode

Die gravimetrischen Methoden stellen die klassischen, zerstörenden Verfahren zur Materialfeuchtebestimmung dar. Dem zu untersuchenden Bauteil wird ein Bohrkern entnommen und im Labor gewogen, über längeren Zeitraum bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und wieder gewogen. Die festgestellte Gewichts-differenz stellt den Wassergehalt der Probe dar. Die Probenentnahme sollte genügend Rückschlüsse über die Feuchteverteilung in der Wand zulassen. So ist bei aufsteigender Feuchte der Feuchtegehalt nach aussen aufgrund der Verdunstung niedriger, während er bei Salzen in der Wand zur Aussenwand hin ansteigt. Dementsprechend sind die Bohrkern-kerne zu entnehmen.

Einflussgrößen und Eckdaten

- Erwärmung der Probe bei Entnahme des Bohrkerns und daher Entweichen von Wasser
- Hohe Trockentemperatur im Labor und entweichen des chemisch gebundenen Wassers, d.h. Anpassung der Temperatur an den Baustoff notwendig
- Dichtheit der Transportbehälter
- Zeitlicher Abstand zwischen Entnahme und Wägung der Probe, keine sofortige Aussage möglich
- Zerstörerisches Verfahren, nur eine Probenentnahmen an gleicher Stelle möglich
- Tiefenstaffelung für Rückschlüsse über horizontale Feuchtigkeitsverteilung erforderlich

Genauigkeit

- Durch sorgfältiges Vorgehen lässt sich eine Genauigkeit von $\pm 0,5\%$ erreichen
- Die erzielte Genauigkeit liegt in der Baupraxis merklich niedriger
- Genauigkeit theoretisch gut möglich, jedoch in der Praxis nur durch hohen Zerstörungsgrad erreichbar
- Schlecht Aussage bei begrenzter Probenanzahl über Feuchteunterschiede zwischen Kern- und Oberflächenfeuchte

3.4.2 Chemische Methoden

Chemischer Methoden sind in der Baupraxis von größerer Bedeutung, da diese vor Ort eingesetzt werden kön-

nen. Das Verfahren ermöglicht die Bestimmung des Gehaltes an freiem, nicht chemisch gebundenen Wasser von mineralischem Material. Die Probe muß in der Regel dem Bauwerk entnommen und homogenisiert werden. Die abgewogene Materialprobe wird in einem vorgegebenen Volumen und einem definierten Mischungsverhältnis mit Kalzium-Karbid (CaC_2) vermengt, worauf das freie Wasser zu Acetylen (C_2H_2) reagiert. Der dadurch in einem geschlossenen Gefäß erzeugte Druckanstieg stellt ein Maß für den Wasseranteil dar, der anhand von Kalibriertabellen abgelesen wird. Die Kalibriertabellen ermöglichen das Ablesen des Wassergehaltes in Abhängigkeit vom Manometerdruck in bar und der Einwaagemenge in g. Ein Ausschnitt einer Kalibriertabelle ist in Abbildung 1 dargestellt.

Manometer- Enddruck	Wassergehalt in % der Einwage						
	100 g	50 g	20 g	15 g	10 g	5 g	3 g
0,10	0,09	0,18	0,50	0,60	0,90	1,80	3,00
0,15	0,14	0,28	0,70	0,90	1,40	2,80	4,70
0,20	0,19	0,38	0,90	1,30	1,90	3,80	6,30
0,25	0,24	0,48	1,20	1,60	2,40	4,80	8,00
0,30	0,29	0,58	1,50	1,90	2,90	5,80	9,70
0,35	0,34	0,68	1,70	2,30	3,40	6,80	11,30

Abbildung 1 Kalibriertabelle

Einflussgrößen und Eckdaten

- Zerkleinerung der Proben sorgfältig durchführen, zu große Proben werden nicht vollständig vom Calciumcarbid erfasst
- Beginnende Austrocknung während der Probenhandhabung
- Ungenauigkeit beim Einwiegen
- Undichtigkeiten der Druckflasche
- Arbeitsaufwand bei großer Probenanzahl beträchtlich
- Häufiger Einsatz unter Baustellenbedingungen

Genauigkeit

- Ausreichende Genauigkeit vor Ort möglich
- Genauigkeit von $\pm 3\%$, jedoch Verfälschungen oft möglich
- Fehlmessungen nur mit einiger Erfahrung erkennbar

3.4.3 Weitere Verfahren zur Materialfeuchtemessung

Diese Verfahren sind hier nur der Vollständigkeit wegen aufgelistet. Durch die seltenere Anwendung und deren oft unsicheren Ergebnissender Methoden soll an dieser Stelle jedoch nicht weiter darauf eingegangen werden.

- Auspressen
Meßmethode für Wassergehalt bei Holz oberhalb Fasersättigungsbereich
- Destillation
Bei der Destillation wird in einer Probe enthaltendes Wasser bei erhöhter Temperatur verdampft und an anderer Stelle des geschlossenen Systems wieder kondensiert. Dieser Vorgang verläuft unter Vakuum schneller. Hoher zeitlicher und apparativer Aufwand gefordert.
- Extraktion

Hier wird nur das in der Probe enthaltene Wasser in eine für die Mengenbestimmung zugängliche Form gebracht.

3.4.4 dielektrisches Feuchtemeßgerät

Die dielektrische Feuchtemessung nutzt die hohe statische Dielektrizitätskonstante ($\epsilon = 80$) von Wasser aus. Im Prinzip wird das zu messende Material zwischen zwei Kondensatorplatten oder andere geeignete Elektroden gebracht, die Kapazitätsänderung im Vergleich zur trockenen Umgebung gemessen und daraus ein zunächst relativer Feuchtigkeitswert erhalten, der noch auf das Material und dessen Dichte bezogen werden muß. In der praktischen Anwendung im Bauwesen werden die Kondensatorplatten bei den meisten Geräten so angeordnet, daß diese nebeneinander auf der Bauwerksoberfläche aufgebracht werden und das elektrische Feld so den Baustoff bis zu einer gewissen Tiefe durchdringt.

Die dielektrische Feuchtemessung eignet sich sehr gut als preiswerte Methode, um durchfeuchtete Bereiche in Beton und anderen mineralischen Baustoffen zu orten und einen Vergleichswert mit der Feuchtigkeit an verschiedenen Stellen desselben Bauwerks zu erhalten.

Einflußgrößen und Eckdaten

- Nicht geeignet für Metalle, Messtiefe nur wenige cm, geht meist nicht über die Betonüberdeckung der Armierung hinaus
- das Gerät muß auf den jeweiligen Baustoff kalibriert sein
- Keine Absolutmessungen, da abhängig von der Baustoffzusammensetzung
- Messung abhängig von Art des Baustoffes, in Meßortnähe befindliche Metalle, Temperatur, Salzgehalt, bei Holz die Faserlänge

Genauigkeit

- Bei mineralischen Baustoffen gute Korrelation im Feuchtebereich von 4 bis 16%.
- Höhere Frequenzen ermöglichen genaue Messungen auch bei hohem Salzgehalt
- Genauigkeit vom Stromübergang Elektrode / Probe abhängig, d.h. Oberflächenbeschaffenheit und Leitfähigkeit haben großen Einfluss

3.4.5 Elektrische Widerstandsmessung

Die elektrische Widerstandsmessung erfolgt über eine Messung des Stromes bei einer vorgegebenen Spannung. Das Verfahren findet Einsatz bei mineralischen Baustoffen, besonders für Putz, Estrich und Mauerwerk, sowie für Holz. Zur Feuchtemessung am Bauwerk wird das Gerät über je nach Baustoff geeignete Elektroden mit der zu messenden Fläche in Kontakt gebracht und der elektrische Widerstand als Maß für die Feuchtigkeit bestimmt. Durch ein Verschieben der Elektroden auf der Oberfläche kann die Feuchtigkeitsverteilung ermittelt werden. Bei der Holzfeuchtemessung ist zu beachten, dass die Elektroden quer zum Faserverlauf eingeschlagen werden, da die Leitfähigkeit so geringer ist .

Einflußgrößen und Eckdaten

- Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Salzgehalt, Inhomogenitäten, Temperatur, Dichte des Baustoffs, angelegter Spannung, Kontaktwiderstand der Elektroden zum Baustoff
- Kontakt der Elektroden mit elektrisch leitenden Inhomogenitäten kann Kurzschluß erzeugen
- Meßaussagen können nur mit viel Erfahrung und Vorsicht unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen genutzt werden

- Ausgereiftes Verfahren bei der Holzfeuchtebestimmung, nicht jedoch für Massivbauwerke

Genauigkeit

- Bestimmung von absoluten Werten kaum möglich
- Große Störgrößenabhängigkeit
- Zuverlässige Werte an der Oberfläche bei niedrigen Feuchtebereich möglich

3.4.6 [Feuchtemessung mit Thermografie](#)

Zur Bestimmung der Feuchteverteilung im Innern oder an der Oberfläche von Bauteilen mit Thermografie gibt es verschiedene Methoden, die sich in der Auswahl und in der Anwendung der zusätzlichen Energiequellen unterscheiden:

- [Transient-Thermografie](#)
Messungen der Feuchteverteilung im oberflächennahen Bereich bis in Tiefen von einigen cm
- [Infrarot-Reflektografie](#)
Über den sog. Feuchteindex direkt auf der Oberfläche befindliche Feuchte quantitativ ermittelt werden
- [Lock-In-Thermografie](#)
Bestimmung der Verteilung von Oberflächenkondensat oder Lokalisierung von starken Durchfeuchtungen, bei denen die Oberfläche noch nicht abgetrocknet ist.

Ein hoher Feuchtegehalt im Innern eines Bauteils führt zu einer deutlichen Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit. Diese Bereiche lassen sich lokalisieren, indem bei niedrigen Außen- und hohen Innentemperaturen die äußere Oberfläche des Gebäudes mit der Thermografiekamera untersucht wird. Die feuchten Bereiche weisen dann eine deutlich erhöhte Außentemperatur auf. Bei diesen Untersuchungen sollte jedoch berücksichtigt werden, daß möglichst keine Sonnenstrahlung oder weitere Wärmestrahlen auf die äußere Oberfläche fallen, da sonst durch die Verdunstungswärme der Oberfläche Energie entzogen wird und die durchfeuchteten Bereich kälter statt wärmer im Thermogramm erscheinen. Dieser Effekt würde zu einer völligen Fehlinterpretation der Messungen führen.

Einflußgrößen und Eckdaten

- Sehr gut geeignet zur Bestimmung der Feuchteverteilung an der Oberfläche und im oberflächennahen Bereich
- Temperatur, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Dichte, Emmissivität, Wellenlänge
- Gut zur Ortung von Feuchteschäden sowie zur Überwachung von Austrocknungsprozessen
- Überraschend gute Meßeinsätze im Laboratorium
- fehlende Erfahrungen zu Meßeinsätzen auf der Baustelle

Genauigkeit

- Schwierig für die Ortung von Durchfeuchtungen im Innern von Bauteilen, da Erhöhungen der Wärmeleitfähigkeit und Verdunstung an der Oberfläche zu gegenteiligen Einflüssen auf die äußere Oberflächentemperatur führen
- Verlässliche Ergebnisse für den oberflächennahen Bereich

3.4.7 Mikrowellen-Reflexion und Radar

Das Funktionsprinzip der Mikrowellen-Reflexion und des Radar-Verfahrens beruht auf dem Impuls-Echo Prinzip: Von einem Impulsgenerator wird ein sehr kurzer elektrischer Impuls erzeugt, der von der Sendeantenne in das zu untersuchende Material abgestrahlt wird. Dieser elektromagnetische Impuls wird an Grenzflächen reflektiert, an denen sich die dielektrischen Eigenschaften des Materials ändern, und von der Empfangsantenne detektiert. Ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Material bekannt, so läßt sich aus der Laufzeit die Position des Reflexionszentrums bestimmen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die Dielektrizitätszahl und damit die Ausbreitungsgeschwindigkeit von der Temperatur und vom Feuchtegehalt abhängt. Dieser Effekt wird bei der Durchführung von Feuchtemessungen ausgenutzt.

Das Radar-Verfahren läßt sich gut zur Durchführung von Feuchtemessungen anwenden, tiefeaufgelöste Ergebnisse lassen sich jedoch nicht erzielen. Die Mikrowellen-Reflexion wird zur Schichtdickenmessung, zur Ortung von Inhomogenitäten, zur Ortung von Schichtablösungen sowie zur Feuchtemessung in Baustoffen und Bauteilen eingesetzt. Dieses Verfahren grenzt sich vom [Radar](#) durch den Einsatz höherer Frequenzen sowie durch die Möglichkeit ab, Messungen nicht nur im Zeitbereich, sondern auch im Frequenzbereich durchführen zu können. Am Bauwerk ist das Verfahren noch wenig in der Praxis erprobt, aber durchaus sowohl für Sonderprüfungen aus besonderem Anlaß als auch bei in angemessenen Zeitabständen zu wiederholenden Untersuchungen einsetzbar

Einflußgrößen und Eckdaten

- Gut Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen
- Einsatz dieses Verfahrens im Bauwesen grundsätzlich möglich, jedoch noch sehr aufwendig
- Temperatur, Feuchtegehalt, Salzgehalt, Bewehrung, Metallfolien
- Mikrowellen-Reflexion liegen dabei in der höheren Ortsauflösung
- Einfluß des Salzgehaltes auf die Absorption bei Frequenzen oberhalb von 5 GHz kann vernachlässigt werden

Genauigkeit

- Feuchtemessungen mit deutlich höherer Nachweisempfindlichkeit

4 Quellenverzeichnis

- [1] Dzierzon / Zull: Altbauten zerstörungsarm untersuchen
 - [2] W. Leschnik: DGZfP- Berichtsband BB 69-CD
 - [3] Kober / Plinke: Feuchtemessung an Baustoffen; WKI Bericht Nr.21
 - [4] Fritz Lieneweg: Handbuch der Technischen Temperaturmessung
 - [5] Lothar Weichert u.a.: Temperaturmessung
 - [6] Jürgen A. Stein: Physik für Bauingenieure Band 2
 - [7] Cerbe/Hoffmann: Einführung in die Wärmelehre
 - [8] U. Grigull/ H. Sandner Wärmeleitung
 - [9] Bauphysik Kalender 2003
-