



Praxis-Fibel  
**Baufeuchte**

Mit praktischen  
Hinweisen, Tipps  
und Tricks







### VORWORT

TESTO als Hersteller, der Messgeräte für vielfältige industrielle und gewerbliche Anwendungen anbietet, möchte dem einzelnen Anwender nicht nur das Gerät an sich liefern, sondern ihm auch helfen, seine spezifischen Bedürfnisse zu erfüllen, sprich: seine Messaufgabe zu erfüllen. Die von TESTO seit mehreren Jahren herausgegebenen "Anwendungsfibeln" sind hilfreiche Ratgeber für viele Anwender von Messtechnik geworden. Der Haustechnikbereich war in dieser Ratgeberreihe bisher abgedeckt (Heizungstechnik und Klimatechnik), für sonstige Bauprobleme wie Feuchte und Unbehaglichkeit fehlte dies jedoch. Schon vor der Gründung der TESTO-AKADEMIE wurde entschieden, auf Grund der Nachfrage baubezogene Anwenderseminare anzubieten, die - kostenpflichtig und markenneutral - helfen, Messaufgaben zu erkennen und richtig durchzuführen. In diesen Seminaren, deren Umfang ständig erweitert wurde, war auch der Wunsch zu hören, das Gelernte in schriftlicher Form noch einmal komprimiert und ergänzt als Handbuch zu erhalten. Diesem Wunsch kommen wir mit der Herausgabe dieses Ratgebers gerne nach.

Dieser Ratgeber kann kein Seminar ersetzen, da der Erfahrungsaustausch und die praktischen Übungen fehlen. Dennoch hoffen wir, dass dieses Heft weite Verbreitung findet, damit Messtechnik effizient und richtig eingesetzt wird, Baufehler schnell gefunden und Schadensursachen nachvollziehbar belegt werden können.

Inhaltlich hat unser Referent von Baufeuchteseminaren und -symposien Martin Giebeler, Zwingenberg, maßgeblich an dieser Fibel mitgewirkt.

Diese Fibel richtet sich an Wohnungsverwalter, Sachverständige, Planer und Techniker, Messdienstleistungs- und Bautrocknungsunternehmen. Wir möchten dazu ermutigen, sich der Messtechnik zu bedienen, wo immer es hilfreich ist. Hierzu muss man die Möglichkeiten und auch die Grenzen des sinnvollen Einsatzes kennen. Dieser Ratgeber soll dazu beitragen.

Weiter bietet er Informationen, die den Rahmen einer Bedienungsanleitung von Analysegeräten sprengen würden.

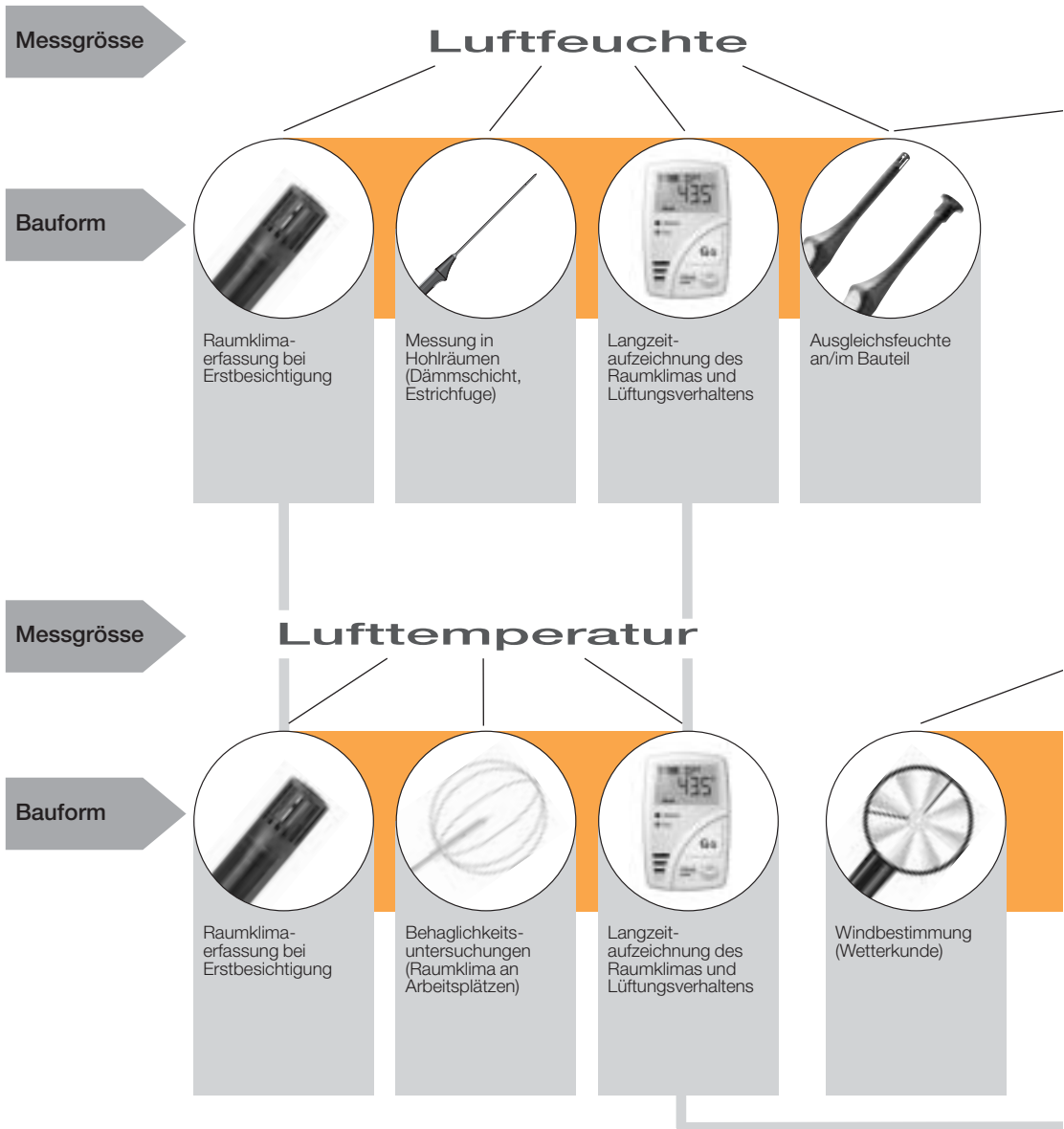
Was fehlt? Was wurde nicht intensiv genug behandelt? Ihre Anregungen, Ergänzungen und Verbesserungsvorschläge zu diesem Leifaden sind uns willkommen. Sie werden in der nächsten Auflage Berücksichtigung finden.

Der Vorstand

Burkart Knospé

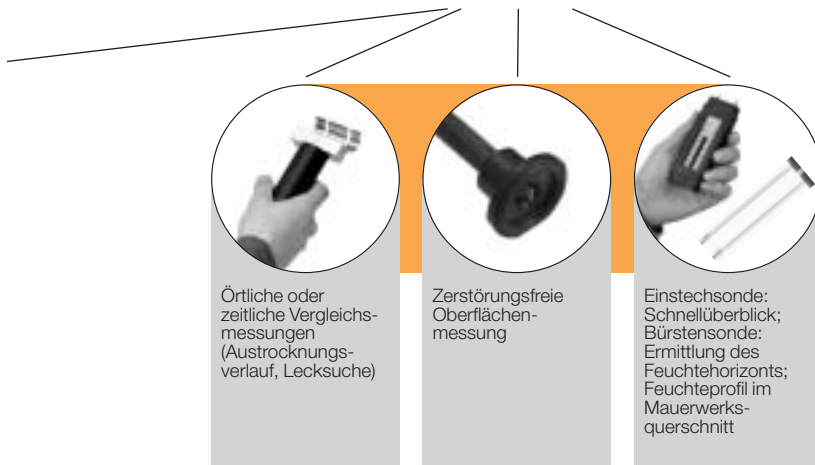
Lothar Walleser

# Übersicht



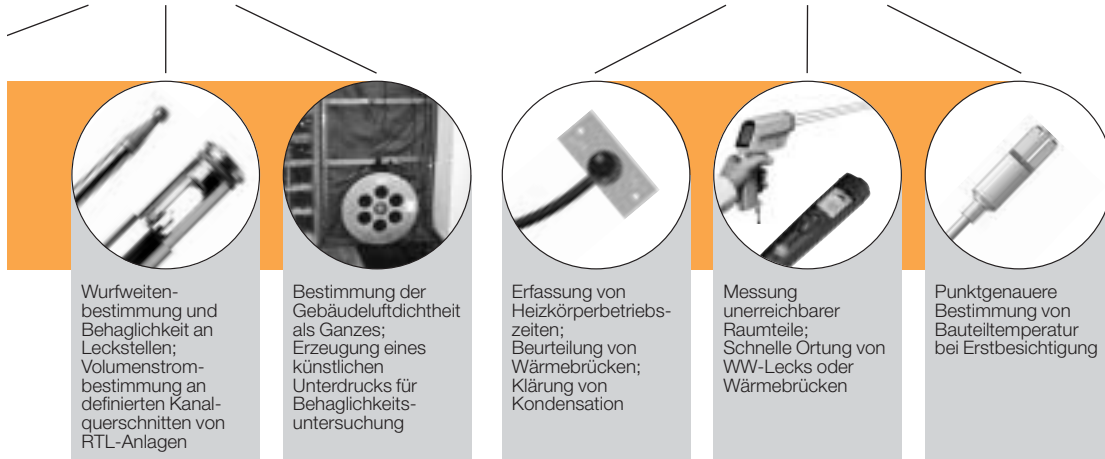
# Übersicht

## Materialfeuchte



## Luftströmung

## Materialtemperatur





## Inhalt

### Inhaltsverzeichnis Baufeuchtefibel

1. Messgrößen und Messverfahren	8
1.1 Lufttemperatur	8
1.1.1 Das Messprinzip	9
1.1.2 Richtige und falsche Anwendung	9
1.1.2.1 Transport/Trägheit des Fühlers	10
1.1.2.2 Messdurchführung	12
1.1.2.3 Spezialanwendungen	12
1.2 Luftfeuchte	14
1.2.1 Das Messprinzip	16
1.2.2 Richtige und falsche Anwendung	17
1.2.2.1 Transport/Trägheit des Fühlers	18
1.2.2.2 Messdurchführung	18
1.2.2.3 Spezialanwendungen	18
1.3 Materialtemperatur	19
1.3.1 Messprinzip berührende Messung	19
1.3.1.1 Anwendung und Durchführung	20
1.3.1.2 Spezialanwendungen	21
1.3.2. Messprinzip berührungslose Messung	22
1.3.2.1 Anwendung und Durchführung	23
1.4 Materialfeuchte	26
1.4.1 Die verschiedenen Messverfahren - Möglichkeiten und Grenzen	28
1.4.1.1 Streufeldverfahren	28
1.4.1.2 Leitfähigkeit	31
1.4.1.3 Gleichgewichtsfeuchte	34
1.4.1.4 Weitere Verfahren	39
2. Grundsätzliches zu Messungen	41
2.1 Der Autoritätsvorsprung	41
2.2 Die Digitalgläubigkeit	41
2.3 Die vier Grundbausteine bei Messungen	43



**Inhalt**

3. Typische Anwendungsfälle der Baupraxis	47
3.1 Leckortung bei Rohrleitungen	47
3.2 Leckortung von Luft bei BlowerDoor-Tests, Beurteilung von Luftzug	50
3.3 Beurteilung von Feuchteschäden	57
3.3.1 Fragestellung	57
3.3.2 Vorgehen	59
3.4 Beurteilung von Schimmelbefall	62
3.4.1 Vorgehen bei einer Besichtigung	63
3.4.2 Kurz- und Langzeitmessung	65
3.4.3 Messort	65
3.4.4 Empfohlene Programmierung für Logger bei Raumklimaaufzeichnung	67
3.4.5 Abgrenzung der Ursachen	68
3.5 Beurteilung von Wärmebrücken	70
3.5.1 Fragestellung und Bedeutung	70
3.5.2 Arten von Wärmebrücken	70
3.5.3 Erfassung von Wärmebrücken	73
4. Verweis auf andere Anwendungsfibeln	75
5. Allgemeines	78



## Messgrößen und Messverfahren

### 1. Messgrößen und Messverfahren

(Übersicht siehe Seite 4).

#### 1.1 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.

Die Messung der Lufttemperatur ist von der Handhabung und technischen Anforderung her einfach.

#### Merksatz

##### Grundsätzlich gilt:

**Gemessen wird stets die tatsächliche Temperatur der Luft, und zwar unabhängig davon, ob sie stehend oder bewegt ist. Stehende und bewegte Luft werden unterschiedlich *empfunden*.**

**Bewegte Luft führt zu einer empfundenen Abkühlung: z.B. wird drückende Sommerhitze mit einer Brise - auch wenn diese gleiche Temperatur hat - erträglicher. Auf der anderen Seite wird Kälte umso schneidender empfunden, je stürmischer es ist ("Chill-Faktor").**

**Die subjektive Wahrnehmung von "Kälte" und "Zug" kann mit der "empfundenen Temperatur" angegeben werden, die stets niedriger ist als die tatsächliche. Hier fließen jedoch empirische anthropologische Faktoren ein (die Empfindsamkeit des Menschen), die über die rein physikalische Angabe einer Temperatur hinausgehen. Gerade bei Wetter-/Klimaangaben, im Sport- und Expeditionsbereich und bei der Behaglichkeitsbetrachtung muss man auf die richtige Definition achten.**

Ebenso wichtig ist, dass strahlende Körper sowohl die empfundene Temperatur als auch die tatsächliche Temperatur verändern! Jeder kennt die Erfahrung, dass eine Lagerfeuerglut in einer kühlen Herbstnacht angenehm wärmt - wenn auch nur von einer Seite. Ähnlich kann in einer Wohnung ein Heizkörper, ein Kachelofen oder ein Halogenstrahler Wärme abstrahlen und die empfundene Temperatur erhöhen. Fällt diese Wärmestrahlung auf ein Thermometer, wird auch dieses eine höhere Temperatur anzeigen, als die umgebende Luft tatsächlich hat. In der Regel misst man diesen Strahlungsanteil nicht mit.



## Messgrößen und Messverfahren

Grundsätzlich sollte man Luft-Thermometer vor Strahlung abschirmen (siehe z.B. wetterkundliche Messungen, die immer im Schatten durchgeführt werden).

Will man den Strahlungsanteil und seine Wirkung auf die Behaglichkeit bewusst miterfassen, gibt es hierfür spezielle Thermometer (z.B. Globe-Thermometer).

### 1.1.1 Das Messprinzip

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Lufttemperaturmessung. Weit verbreitet ist die Messung mit einem temperaturabhängigen elektrischen Widerstand (hochohmiger NTC oder niederohmiger PT100) und die Messung mit einem Thermoelement. Dieses Thermoelement erzeugt abhängig von der Temperatur eine elektrische Spannung.

Wie bei anderen Messaufgaben auch, gibt es bevorzugte Anwendungen für das eine oder andere Prinzip in Abhängigkeit vom zu erfassenden Temperaturniveau (z.B. 20° C oder 200°C?) und den Anforderungen an Genauigkeit, Bauform und Geschwindigkeit.

Eignungen und Genauigkeiten werden vom Hersteller für jedes Gerät angegeben, wobei Temperatursensoren oft mit Luftfeuchtesensoren oder einem Luftgeschwindigkeitssensor in einer Sonde kombiniert werden.

Die Genauigkeiten bei TESTO-Standardfühlern (Kombisonde) liegen bei  $\pm 0,4K$ , die Ansprechzeiten bei bewegtem Fühler bei ca. 30 Sek.<sup>1</sup>

### 1.1.2 Richtige und falsche Anwendung

#### **Es gilt zu beachten:**

das Gerät erkennt immer nur die Temperatur des Sensors, nicht die Temperatur des Mediums!

Der Sensor muss daher möglichst genau die Temperatur des zu messenden Mediums annehmen.

Aus diesem Grund ist der Sensor in der Regel aus dem Handgerät ausgegliedert und in einer Handsonde untergebracht.<sup>2</sup>

Handsonden müssen speziell für Messungen in Luft (oder allgemein: in Gasen) geeignet sein. Die Bauart unterscheidet sich deutlich von Fühlern für Feststoff-Oberflächen, für Schüttgüter oder für Flüssigkeiten!

<sup>1</sup> nähere Erläuterung zur Ansprechzeit s. Kap. 1.1.2.1  
<sup>2</sup> zur Definition der Begriffe "Fühler" und "Sonde" s. Abb. 1

## Messgrößen und Messverfahren

Die Temperatur sollte ausschließlich in dem Raumteil erfasst werden, in dem sich der Fühler aufhält.

Bedenkt man die Luftschichtung, die in Wohnräumen herrscht, mit ca. 4 K Differenz zwischen Boden- und Deckennähe, stellt sich die Frage, in welcher Höhe man messen sollte.

Im Zweifelsfalle misst man in mehreren Höhen und notiert alle Messwerte. Ansonsten genügt es in der Regel, in Brusthöhe zu messen. Das entspricht in etwa 140 cm Höhe, die man aus Behaglichkeitsrichtlinien als mittlere Messhöhe ableiten kann.<sup>3</sup> Die Raummitte gilt dabei als repräsentativ für den Raum. Will man andere Plätze bewusst beurteilen, z.B. an einer als zugig empfundenen Balkontür, muss dort separat gemessen werden.



**Abb. 1: Bestandteile eines Messgeräts**

### 1.1.2.1 Transport/Trägheit des Fühlers

Wie zuvor geschildert, sollte der Sensor möglichst schnell und ungehindert die Temperatur des Mediums annehmen.

Nach Transport oder Lagerung bei deutlich anderen Temperaturen muss dem Fühler genügend Angleichzeit gegeben werden, um sich auf die tatsächlich vorherrschenden Temperaturen einstellen zu können (z.B. in Frostnächten das Messgerät nicht im Auto aufbewahren, wenn man am nächsten Morgen die Messung in einer Wohnung durchführen möchte).

## Messgrößen und Messverfahren

Eine abweichende Temperatur des Handgeräts fällt dabei nicht so sehr ins Gewicht wie die zu niedrige Temperatur der Sonde.

Wurde die Sonde jedoch abgekühlt (oder überhitzt) in den zu messenden Raum gebracht, benötigt sie still liegend ca. 10 Minuten Zeit zur Angleichung. Die eigentlich "träge Masse" ist hier das Fühlergehäuse, nicht der Sensor an sich.

Die Messung mit einer zu stark abgekühlten Sonde führt zum Beschlagen des Sensors. Zu niedrige Werte sind das Resultat. Hat man nicht lange genug gewartet, erkennt man zu niedrige oder auch zu hohe Werte daran, dass der Messwert noch "wandert". Erst wenn der Messwert stabil ist, hat die Sonde die angegliche und somit korrekte Temperatur.

In der typischen Bauart, bei der der Sensor in einer gut durchströmbaren geschlitzten Schutzkappe sitzt, bildet sich ein Mikroklima. Bei ruhendem Fühler kann sich in der Kappe (das gilt insbesondere für rundum geschlossene Sinterkappen, wie sie in staubiger Luft verwendet werden) ein isolierendes Luftposter halten. Man kann die Temperaturangleichung beschleunigen, indem man die Sonde in der Raumluft bewegt: das Mikroklima wird dann aufgerissen.

Die Ansprechzeit des Fühlers selbst hängt bei guter Umströmung von der Bauart und vor allem von der Masse ab. Bei den handelsüblichen Luftfühlern bewegt sich die Ansprechzeit im Sekundenbereich und spielt praktisch keine Rolle. Technisch ausgedrückt wird die Ansprechzeit mit einem Kennwert, der  $t_{99}$  heißt. Das ist die Zeit, nach der sich die angezeigte Temperatur dem Endwert bis auf 99% genähert hat.

## Messgrößen und Messverfahren

### 1.1.2.2 Messdurchführung

Bei der Messung selbst ist zu beachten, dass die eigene Körperwärme und vor allem die Atemluft die Sonde nicht erreichen dürfen. Abhilfe schafft hierbei das Bewegen des Fühlers. Die Handhaltung sollte nicht hektisch wedelnd, aber auch nicht ruhend sein.

#### **Zusammenfassend sollten Messungen wie folgt durchgeführt werden:**

- ungefähr in Raummitte
- in Brusthöhe
- starke Strahlungsquellen mit dem Körper abschirmen
- mit ausgestrecktem Arm seitlich vom Körper
- aus dem Handgelenk schwenken. Anzustreben sind ca. 1,5 m/s, das entspricht in etwa 2 "Schwenks" pro Sekunde.



**Abb. 2: richtige Handhaltung bei Messung von Lufttemperatur und Luftfeuchte**

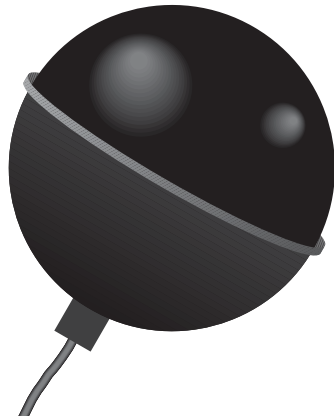
### 1.1.2.3 Spezialanwendungen

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

## Messgrößen und Messverfahren

Einfallende Wärmestrahlung (z.B. Sonneneinfall) 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 empirischen Untersuchungen mit vielen Testpersonen beruht.

Das Globe-Thermometer lässt im Messwert allerdings nicht erkennen, ob die Strahlung rundum gleichmäßig war oder einseitig auf die Kugel traf. Für die Behaglichkeit macht das bekanntlich einen eklatanten Unterschied.



**Abb. 3: Globe-Thermometer**

Um Temperaturschwankungen zu erfassen, ist eine Langzeitaufzeichnung sinnvoll. Man benötigt dafür ein programmierbares Gerät mit Datenspeicher, einen so genannten Datenlogger. Für die Platzierung der Sonde im Raum gilt sinngemäß das unter 1.1.2.2 Gesagte. Weil eine Bewegung des Fühlers nicht stattfindet, ist die Trägheit des Globe-Thermometers theoretisch größer. Für die Praxis ist das aber ohne Belang, da sich die Lufttemperatur in Räumen nicht so schnell ändert, dass der Fühler nicht folgen könnte.

## Messgrößen und Messverfahren

### 1.2 Luftfeuchte

Die Messgröße Luftfeuchte ist ganz entscheidend, wenn man Schimmelschäden beurteilen will. Außerdem ist sie ein wichtiger Indikator bei der technischen Bautrocknung, um festzustellen, wann ein Trocknungsvorgang beendet werden kann.

Es gibt eine Vielzahl von Kennwerten, mit denen angegeben werden kann, wie viel Wasserdampf sich in der Luft befindet.

Im Rahmen der Anwendungen, die in diesem Ratgeber zur Sprache kommen, sind nur

- **Absolutfeuchte**  $\left[ \frac{\text{g}_{\text{Wasser}}}{\text{m}^3_{\text{Gas}}} \right]$  und
- **Relativfeuchte**  $\left[ \frac{\text{g}_{\text{Wasser tatsächlich}}}{\text{g}_{\text{Wasser max. möglich}}} \right]$

interessant.<sup>4</sup>

Die *Absolutfeuchte* beschreibt, welche Masse an Wasser(dampf) in einem Kubikmeter Raumluft (inklusive des Dampfes) vorhanden ist. Streng genommen müsste man dabei auf die Einhaltung des Normdrucks achten. In der Praxis ist das jedoch nicht relevant, da die Gerätetechnik und Messdurchführung höhere Ungenauigkeiten verursachen.

Die *Relativfeuchte* beschreibt, wie viel von dem maximal möglichen Aufnahmevermögen der Luft aktuell ausgenutzt wurde. Diese Angabe ist temperaturabhängig!

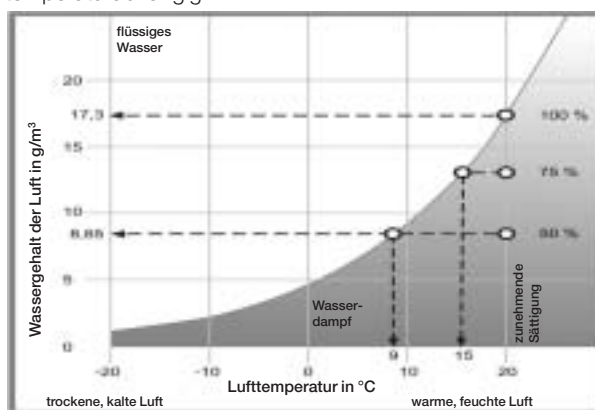


Abb. 4: Sättigungskurve und Tautemperaturkurve

<sup>4</sup> Die Begriffe "Dampfdruck", "Enthalpie", "Wassergehalt" werden in einigen Branchen bevorzugt verwendet (Klimatechnik, Fertigungstechnik). Die Einheiten sind an Hand eines h-x-Diagramms ("Mollier-Diagramm") ineinander überführbar, wenn man die Randparameter kennt.

## Messgrößen und Messverfahren

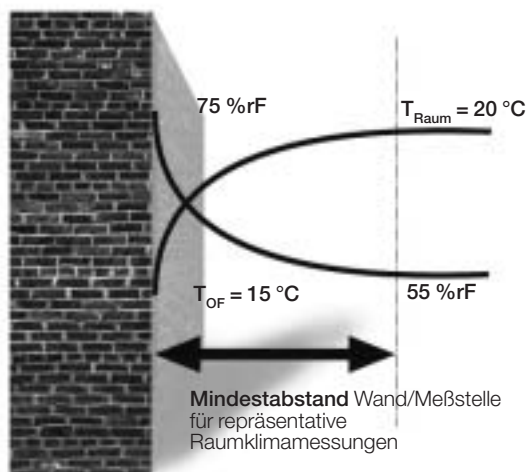


Abb. 5: Temperaturabhängigkeit der Relativfeuchte

Absolut- und Relativfeuchte in der Praxis <sup>5</sup>			
Raumluft bei	mit einem Wassergehalt von angenommen	...wäre gesättigt bei...	und weist folglich eine Relativfeuchte auf von...
20°	9,5 g/m <sup>3</sup>	17 g/m <sup>3</sup>	55%
Dies wäre ein typisches Raumklima beispielsweise in einem Wohnzimmer. Gelangt diese Luft nun in ein unterkühltes Schlafzimmer mit einer Ecke, die nur ca. 10° an der Oberfläche aufweist...			
...kühlt diese Luft ab auf...	Sie enthält zunächst immer noch...	...ist aber schon gesättigt bei...	Das heißt:
10°	9,5 g/m <sup>3</sup>	9 g/m <sup>3</sup>	Etwas 0,5 g, entsprechend 0,5 ml, "Überschuss" kondensieren aus, und zwar zuerst an der kalten Fläche => Schimmelbildung! Die Betauung beginnt ab einer Abkühlung auf 10,7°. Schimmelbefall beginnt schon vor der Betauung.
Abhilfe: Möbel abrücken, Decke oberseitig dämmen, Schlafzimmer besser beheizen. Damit könnte die Wandtemperatur beispielsweise auf 15° gesteigert werden:			
Diese Luft kühlt also nur noch ab auf...	Sie enthält immer noch...	...ist aber erst gesättigt bei...	Das entspricht einer Relativfeuchte an der Wand von:
15°	9,5 g/m <sup>3</sup>	13 g/m <sup>3</sup>	73%. Der Wert ist deutlich unter dem kritischen Wert für Schimmelbildung von 85%. => Problem gelöst!

<sup>5</sup> In dieser Betrachtung wurde zur Vereinfachung von konstanten Werten ausgegangen. In der Praxis schwankt das Raumklima natürlich. Man kann aber mit Durchschnittswerten arbeiten.



## Messgrößen und Messverfahren

### Verschiedene Relativfeuchten innerhalb eines Raumes

Die Angabe der Relativfeuchte ist weiter verbreitet, was vermutlich von der Wetterkunde und von Behaglichkeitsbetrachtungen herrührt. Die Relativfeuchte hängt nicht nur vom Wassergehalt, sondern auch von der Lufttemperatur ab. Da innerhalb eines Raumes verschiedene Lufttemperaturen herrschen können (am Boden und in Außenwandecken geringer als in Raummitte), ergeben sich verschiedene Relativfeuchten innerhalb eines Zimmers!

### Die Tautemperatur

Hilfreicher für bauphysikalische Betrachtungen, bei denen es um Kondensation und Trocknung geht, ist deshalb die Absolutfeuchte. Gut ausgestattete Messgeräte zeigen beide Kennwerte an und informieren auch über die "Tautemperatur" (oft "Taupunkttemperatur" genannt). Das ist die Temperatur, bei der es zu Kondensation käme, wenn eben diese Raumluft abgekühlt würde. Will man wissen, wo in der jetzigen Raumklimasituation kühle Wandpartien "beschlagen", ist diese Kenngröße sehr interessant.

#### 1.2.1 Das Messprinzip

Der eigentliche Fühler ist meist in einer Handsonde zusammen mit einem Temperaturfühler eingebaut. Er besteht aus einem ca. 0,5 cm<sup>2</sup> großen Plättchen, das einen dreischichtigen Aufbau aufweist und damit einen Kondensator bildet. Die Mittelschicht ist ein feuchteempfindlicher Kunststoff. Je nach Umgebungsfeuchte bewirkt er eine andere Dielektrizitätskonstante, womit sich die Kapazität ändert. Die Änderung des Schwingkreisverhaltens wird elektronisch ausgewertet.

Die Fühler gibt es in verschiedenen Toleranzklassen. Staubige Ablagerungen lassen sich abspülen, mechanische Beanspruchung (Kratzer) oder Handschweiß beschädigen den Fühler. Auch wenn die heutigen Fühler als langzeitstabil gelten, unterliegen sie einer unvermeidbaren Alterung. Eine Überprüfung und evtl. Nachjustierung ist für unsere Anwendungsfälle alle 2 Jahre nötig. Dies gilt vor allem, wenn von der Genauigkeit der ermittelten Werte rechtliche Verbindlichkeit besteht, oder man mehrere Messgeräte gleichzeitig einsetzt, deren Werte dann nicht differieren dürfen (z.B. bei der Wärmebrücken- und Schimmeldiagnostik, s. Kap. 3.5.3).

Erfolgt die Kalibrierung im Werk, erhält man eine entsprechende Bescheinigung (z.B. Kalibrierzertifikat) mit der man Misstrauen bezüglich der Messgenauigkeit entgegen treten kann. Die Genauigkeit bei TESTO-Standardfühlern beträgt + 2 % r.F. (nicht % vom Anzeigewert). Die Ansprechzeit beträgt ca. 30 s (bei bewegtem Kombifühler).





Abb. 6: Kombifühler

### 1.2.2 Richtige und falsche Anwendung

Vor einer Messung ist es ganz wesentlich, sich vor Augen zu führen: was will ich mit der Messung erreichen?

**Gerade bei Feuchtemessungen zur Schimmelbeurteilung ist oft nicht klar, wo die Sonde positioniert werden soll:**

- Will ich die Luftfeuchte in der Schimmel befallenen Ecke erfahren?
- Oder will ich eine repräsentative Wohnraumfeuchte, um zu einer Beurteilung des Lüftungsverhaltens zu kommen?

**Auch hier gilt:**

**die Messung gilt nur für den Ort, an dem sie vorgenommen wurde.**

Es ist immer sinnvoll, eine Messung pro Raum durchzuführen, und zwar - analog zur Temperaturmessung - etwa in Raummitte. Ergänzend kann eine Feuchtemessung in Raumecken, hinter Schränken o.ä. durchgeführt werden, was im Protokoll dann gesondert zu vermerken ist.

Prinzipiell wird durch die Messung selbst - d.h. durch die Anwesenheit der messenden Person - das Raumklima schon beeinflusst. Deshalb sollte der Raum schnell betreten, die Türen geschlossen und die Messung zügig durchgeführt werden. Alleine das Öffnen oder offen Stehenlassen der Tür, oder auch längerer Aufenthalt, verändert die Luftfeuchte im Raum.

**Generell sind im Protokoll Messort, Uhrzeit, Wetter und Lufttemperatur zu vermerken, da dies zur späteren Interpretation der Ergebnisse unverzichtbar ist.**

## Messgrößen und Messverfahren

### Schwenken des Fühlers verkürzt die Angleichszeit

#### 1.2.2.1 Transport/Trägheit des Fühlers

Wie bei den Temperaturfühlern besprochen, gibt es bei Feuchtefühlern ebenfalls eine gewisse Angleichzeit. Dies liegt daran, dass die Luftfeuchte erst in die Kunststoffschicht der Sonde eindiffundieren muss. Zwar ist die Kunststoffschicht nur mit einer hauchdünnen und mikroporösen Metallschicht als zweitem Pol bedampft, dennoch dauert der Vorgang einige Sekunden bis wenige Minuten.

Die Trägheit hängt auch hier maßgeblich davon ab, wie gut der Sensor umspült ist, d.h. ob der Fühler in der Luft bewegt wird. Sofern man die Sonde kaum bewegt, soll man auch hier von einer 10minütigen Angleichzeit ausgehen. Eine schnellere Angleichung erfolgt auch hier bei einer Umspülung mit ca. 1,5 m/s. Das Gerät sollte zuvor nicht kühl gelagert worden sein, um Kondensation zu verhindern und die Ansprechzeit zu verkürzen. Wenn der Messwert stabil ist, kann abgelesen werden.

### Die Körperhaltung bei der Messung

#### 1.2.2.2 Messdurchführung

Alles, was für die Temperaturmessung gilt, muss auch bei der Durchführung der Feuchtemessung beachtet werden: der Fühler muss vom Körper weg gehalten werden, um nicht mit Atemluft beaufschlagt zu werden (Atemluft ist feuchtegesättigt!). Der Fühler soll im Handgelenk bewegt werden, und zwar auf Brusthöhe usw.

#### 1.2.2.3 Spezialanwendungen

Auch bei der Feuchtemessung gibt es *Langzeitaufzeichnungen*. Diese sind für Schimmelbeurteilungen unverzichtbar. Die Platzierung der Sonden bzw. Geräte erfolgt wie bei der Einmalmessung.

Für die *Messung in Hohlräumen* oder Estrich-Dämmschichten gibt es besonders dünne Sondentypen, die in Bohrlöcher bzw. den Randstreifen eingeschoben werden können. Hierfür erhältliche sehr schlanke Schutzkappen schützen vor Staub und Körnern, verlängern aber die Ansprechzeit. Für die Messung in staubiger Luft sind Sintermetall-Schutzkappen erhältlich, die durchlässig für Gas, aber undurchlässig für Partikel sind. Auch hiermit verlängert sich die Angleichzeit.



Abb. 7: Messung in Estrich-Randfuge

Mit speziellen Adaptern können Luftfeuchte-Fühler auch zur *Bestimmung der Materialfeuchte* verwendet werden (s. Kap. 1.4.1.3).

### 1.3 Materialtemperatur

#### 1.3.1 Messprinzip berührende Messung

Hierbei erfolgt die Messung nach dem bewährten Prinzip, dass der Fühler die Temperatur des zu messenden Mediums annehmen muss. Die Genauigkeit der Messung hängt davon ab, wie gut das gelingt.

**Grundsatz:** jedes Messgerät misst nur die Temperatur seines eigenen Sensors.

Da man bei Festkörpern den Fühler in der Regel nur an der Oberfläche aufsetzt, ist ein inniger Kontakt des Fühlers wichtig, u.a. durch eine genügend große Auflagefläche. Diese Auflagefläche sollte sich der Oberflächenkontur möglichst 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.

## Messgrößen und Messverfahren

Die Genauigkeiten sind in der Regel geringer als bei der Messung von Lufttemperaturen. Nähere Angaben hierzu finden Sie im folgenden Abschnitt.

### 1.3.1.1 Anwendung und Durchführung

Luft- oder Einstechfühler erfüllen an festen Körpern die genannten Forderungen selbstverständlich nicht und sind deshalb nicht geeignet für die Messung von Wandtemperaturen. Hierfür gibt es die sogenannten Teller- oder Federbandfühler.

Tellerfühler eignen sich nur für sehr glatte Oberflächen; man verwendet sie in Verbindung mit Magnethaftung für ebene metallische Oberflächen, aber nicht für Tapeten, Putze, Steine oder Beton.

Federbandfühler sind hierfür passender. Ist die Oberfläche sehr rau (z.B. Rauputz), muss der Wärmeübergang mit einer Wärmeleitpaste verbessert werden.

Die Angleichzeit bei Federbandfühlern ist bei schlechten Wärmeleitern (z.B. Dämmstoff) prinzipiell länger und kann bis ca. 10 Sekunden dauern; bei guten Wärmeleitern (z.B. Metall) ist sie kürzer.

Exakte  
Messungen nur  
bei innigem  
Kontakt



**Abb. 8: Federbandfühler**

Messprinzip und Bauform und Anwendung müssen bei Messungen, bei denen es auf besondere Genauigkeiten ankommt (z.B. bei Gutachten), berücksichtigt werden.

Bei der Genauigkeitsbetrachtung muss man sich vor Augen halten, dass der Hersteller nur Fühlergenauigkeiten angibt für definierte Oberflächenverhältnisse, d.h. bei rechtwinkligem Aufsetzen auf eine glatte Metallplatte. Andere Oberflächen können bei einer Sonderkalibrierung prinzipiell berücksichtigt werden.

## Messgrößen und Messverfahren

Die Genauigkeit bei Federbandfühlern beträgt beispielsweise für raumübliche Temperaturen  $\pm 2,5$  K als Standard. Für Anwendungen mit hohem Anspruch an die Genauigkeit sind jedoch präzisere Messungen notwendig.

Eine Kalibrierung ist möglich und empfehlenswert, wenn man im Temperaturbereich von  $10^{\circ}\text{C}$  (typische Wärmebrückentemperatur) höhere Genauigkeit möchte. Einstechfühler, die man hinter ein Tapete schieben könnte, sind zum Teil genauer, dafür aber träger; der Wärmeübergang ist außerdem undefinierter. Ein genauerer Fühlertyp ist im Folgekapitel geschildert.

### 1.3.1.2 Spezialanwendungen

Auch bei Messung der Oberflächentemperatur gibt es Bedarf an der Langzeitaufzeichnungen. In der gutachterlichen Praxis benötigt man sie vor allem bei Schimmelbeurteilungen oder in der Forschung bei der Ermittlung von Aufheizverhalten. Hier spielt die Angleichzeit praktisch keine Rolle. Wichtiger ist hier, dass sich ein Fühler fest verankern lässt. Hierfür gibt es Plättchenfühler,  $1,5 \times 4$  cm groß, die - mit Wärmeleitpaste versehen - an der Wand mit zwei kleinen Nägeln fixiert werden. Die Rückseite sollte mit einem kleinen Styroporstück gegen Wärmestrahlung und Luftumspülung des Raums abgeschirmt werden.



**Abb. 9: Plättchenfühler**

Die erzielbare Genauigkeit ist hier weitaus besser als beim Aufsatzfühler. Sie liegt für das Plättchen selbst, das mit einem PT100-Sensor ausgerüstet ist, bei  $\pm 0,5$  K und ist für Taubeurteilungen ausreichend. Wichtig ist inniger Kontakt zur Oberfläche, weshalb ein Luftspalt vermieden und Wärmeleitpaste eingesetzt werden muss.

Der Mess-/Anbringungsart ist abhängig von der Fragestellung. Gleichzeitige Messung zweier Messpunkte ist oft nützlich.

**Näheres zum Vorgehen bei Schimmelbefall finden Sie in Kap. 3.4. Zur Beurteilung von Wärmebrücken finden Sie Überlegungen in Kap. 3.5.3.**



## Messgrößen und Messverfahren

### 1.3.2. Messprinzip berührungslose Messung

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

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 zeigen ein "sauberes" Abstrahlungsverhalten, das von den gängigen Messgeräten im Bereich von 8 bis 14  $\mu\text{m}$  ausgenutzt wird.<sup>6,7</sup> Entscheidend ist, ob der Körper an der Oberfläche wirklich nur seine Eigenenergie abstrahlt, oder ob er einen nennenswerten Anteil der Umgebungs-Wärmestrahlung reflektiert (ähnlich wie eine polierte Oberfläche das mit sichtbarem Licht tut).

Welchen Anteil die Reflexionsstrahlung hat, wird mit dem Emissionsgrad  $\epsilon$  beschrieben.

Zu beachten ist, dass die reflektive oder transparente Eigenschaft eines Körpers sich bei Wärmestrahlung anders verhalten kann als bei sichtbarem 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 uns sichtbare Farbton eines Objekts (weiß, schwarz, blau usw.) spielt für die Messung keine Rolle.

#### Grundsätzlich gilt:

**Es wird nur die Temperatur der Feststoff-Oberfläche gemessen. Die Kerntemperatur und die davor herrschende Lufttemperatur wird nicht angezeigt.**<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Einige Infrarot-Kameras arbeiten auch in Bereichen von 3 bis 5  $\mu\text{m}$

<sup>7</sup> Es gibt einige Stoffe (z.B. Metalloxide und Kunststoffe), die in mehreren Spektralbereichen abstrahlen und darüber hinaus bei Temperaturänderungen sprunghaft die Wellenlänge ändern; sie nennt man "bunte Strahler". Diese sind messtechnisch schwieriger zu erfassen. Für die typische Bauanwendung ist dies jedoch nicht relevant.

<sup>8</sup> Selbstverständlich hängt von Kern- und Lufttemperatur ab, welche Temperatur sich an der Oberfläche einstellt. So führt beispielsweise einströmende Kaltluft, die an der Wand entlangstreicht, zu schlierenförmigen Abkühlungszonen an der Oberfläche. Die Kaltluft selbst wird nicht "erkannt"; sie wird aber an der Wirkung sichtbar, die sie an der Oberfläche erzielt.

## Messgrößen und Messverfahren

### 1.3.2.1 Anwendung und Durchführung

Der richtige Emissionsgrad ist für die Genauigkeit der Messung entscheidend. Er liegt für die meisten matten Baustoffe bei 0,93 ... 0,95. Die Geräte der niedrigeren Preisklasse haben einen fest eingestellten Wert. Bei variablen Geräten kann der Emissionsgrad entsprechend der Anforderungen eingestellt werden. Bei spiegelnden Oberflächen (z.B. poliertes Edelstahlgeländer, eloxierte Oberflächen) kann die Messung sehr ungenau werden, da kaum Eigenstrahlung vorliegt.

Glas verhält sich nicht in jedem Fall reflektierend oder durchlässig, wie es optisch erscheint. Ob Glasoberflächen wie "matte" Baustoffoberflächen wirken, hängt von dem Wellenlängen-Bereich ab, in dem das Messgerät arbeitet.

Fensterscheiben können für manche Thermografiekameras undurchsichtig sein und statt dessen wie ein Spiegel für die Weltraumstrahlung wirken. Die Scheiben erscheinen dann im Messergebnis unnatürlich kalt. Liegen keine Herstellerempfehlungen oder Eigenerfahrungen vor, kann man sich behelfen, in dem man eine fragliche Oberfläche mit einem matt wirkenden Klebeband versieht (für hohe Temperaturen ist hierfür hitzebeständiges Klebeband erhältlich). Aluminisierte Klebebänder verbieten sich hier von selbst. Das "Gaffa"-Band von Tontechnikern oder auch Kreppband ist jedoch gut geeignet. Glasierte Fliesen, Scheiben, Spiegel, Heizkörper, Metallgeländer, verzinkte Flächen usw. können damit sicherer gemessen werden.

Zu beachten ist die Größe des Messflecks. Bei Thermografiekameras ist der Bildausschnitt der in die Messung eingeht bekannt, da der Ausschnitt laufend abgescannt wird.

Handgeräte machen jedoch nur 1-Punkt-Messungen, und zwar in der Regel nicht auf einem Punkt, sondern auf einem kreisrunden Fleck. Dieser ist durch den Optikaufbau bedingt (vgl. Prinzip einer Fotokamera). Über die Meßfleckfläche wird ein Temperaturmittelwert gebildet.

Um zu wissen, wo man misst, verfügen die Geräte über einen Laserstrahl, der die *Lage* des Messflecks kenntlich macht. Aber auch die *Größe* des Messflecks ist bedeutend, z.B. in Ecken, in der Nähe von Wasserrohren oder an den erwähnten Klebebandstücken. Die komfortableren Geräte verfügen deshalb über zusätzliche Laserstrahlen, die den Messfleck in seiner Kontur markieren. Ansonsten muss man die Messfleckgröße in der Bedienungsanleitung aus dem Abstand zum Objekt entnehmen.

### Die Reflektion

### Der Messfleck



## Messgrößen und Messverfahren

Die zu messende Oberfläche soll möglichst rechtwinklig "betrachtet" werden. Bis zu 30° Abweichung aus der Senkrechten sind ohne Belang. Das Messgerät sollte seitlich vom eigenen Körper gehalten werden, damit die reflektierte Strahlung der Körperwärme das Gerät nicht erreichen kann. Sehr flache Betrachtungswinkel beeinträchtigen nicht nur die Genauigkeit, sondern führen auch zu einem verzerrten, ovalen Messfleck.

Die berührungslose Messung ist nicht zwangsläufig genauer als die berührende Messung. Der direkte Vergleich beider Verfahren an ein und derselben Stelle kann Differenzen aufweisen. Die Genauigkeit wird hier nicht durch die Auflösung der Digitalanzeige bestimmt, sondern durch die Genauigkeit des Emissionsfaktors, die Kompensationsfähigkeit der Elektronik gegenüber der Raumlufttemperatur und die Exaktheit der Optik. Ein Abgleich beider Verfahren an der Baustelle ist vorteilhaft, um sich einen Eindruck der Genauigkeit zu verschaffen.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Auch wenn sich Ergebnisse decken, ist damit nicht gesagt, dass die Messung genau erfolgte. Die Abweichung kann bei beiden Messungen in die selbe Richtung gegangen sein. Dennoch ist es unumgänglich, bei kritischen Anwendungen immer mehrere Verfahren einzusetzen!



## Messgrößen und Messverfahren

Infrarotmessung		Berührungsmessung	
Kriterium	ggf. Abhilfe	Kriterium	ggf. Abhilfe
Emissionsfaktor richtig eingeschätzt?	Richtigen Wert aus Handbuch suchen und einstellen	Oberfläche uneben? Hat der Fühler genügend Auflagefläche?	Geeigneten Fühler wählen
"Zuverlässige" Oberfläche?	Bei Metallen, eloxierten Flächen, spiegelnden Flächen matten Klebeband fest anreiben	Oberfläche rau? Eingeschlossene Luftschicht?	Wärmeleitpaste einsetzen
Starke Hintergrundstrahlung (Glühlampe, Schmelzofen, klarer Winterhimmel)?	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 Schaft; Plättchenfühler raumseitig "dämmen"
Staub oder sonstiger inhomogener Film auf Messobjekt? Messobjekt beschlagen?	Reinigen	Messwert stabil?	Temperierung abwarten; zuverlässigere Auflagefläche suchen; Verkantung 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! Leitpaste einsetzen

**Tabelle 1: Wichtige Kriterien zur Einhaltung der Messgenauigkeit bei Infrarot- und Berührungsmessungen**

Wichtig für eine genaue Messung ist auch hier ein raumtemperiertes Messgerät, vor allem bei Messung von Objekten mit niedrigem Emissionsfaktor.

Der große Vorteil der Infrarot-Messgeräte ist ihre einfache Handhabung. Nicht mit der Hand erreichbare Bauteile, wie z.B. Decken in Sporthallen, Ixel über



## Messgrößen und Messverfahren

Schlafzimmerschränken und Raumecken, können schnell und ausreichend genau gemessen werden. Dabei werden *Temperaturdifferenzen* weitaus genauer gemessen als die Absoluttemperatur, vorausgesetzt die Oberfläche ist identisch. Mauerwerksfugen, Rohrleitungen, Betonstürze usw. werden an der Temperatur "erkannt". Weiß man die aktuelle Tautemperatur des Raumklimas, lassen sich schnell Zonen finden, wo momentan Kondensation statt findet. Noch komfortabler geht das, wenn die Tautemperatur als unterer Schwellenwert in das Gerät eingespeichert werden kann und eine Unterschreitung optisch und akkustisch angezeigt wird. Die Infrarotmessung erfasst nicht nur unzugängliche, sondern auch rauhe Oberflächen, was für die Bauanwendung wesentlich ist.

### 1.4 Materialfeuchte

Zur Ermittlung des Wassergehalts in mineralischen Baustoffen stehen ungefähr ein Dutzend Verfahren zur Verfügung. Einige dieser Verfahren sind zerstörend, setzen zeitraubende Abgleicharbeiten voraus, benötigen viel Zeit, viel Strom oder radioaktive Substanzen. Nicht alle Verfahren sind transportabel und auch für kleinere Unternehmen finanzierbar.

Alle Verfahren müssen sich an einem Referenzverfahren orientieren, der **Darr-Wäge-Methode**.

Dabei wird ein Probe entnommen (herausgestemmt), luft- und dampfdicht verpackt und in ein Labor gebracht. Hier wird die Probe genau gewogen, bevor in einem Trockenofen alles Wasser aus der Probe ausgetrieben wird (Trockentemperatur bei zementären Baustoffen 105 °C). Nach Erreichen der Gewichtskonstanz wird wieder gewogen. Die Gewichts­differenz entspricht der enthaltenen Wassermenge.

**Die Masse dieses Wassers wird in Bezug gesetzt zur Trockenmasse der Probe:**

$$U = \left[ \frac{m_{\text{feucht}} - m_{\text{gedarrt}}}{m_{\text{gedarrt}}} \right]$$

Die Angabe erfolgt in der Regel als %.

Die so gewonnene Angabe U des Wassergehalts allein sagt jedoch noch nichts über die tatsächliche Durchtränkung eines Stoffes aus, d.h. ob seine Sättigung schon erreicht ist oder nicht.

## Messgrößen und Messverfahren

Um hierüber eine Aussage zu machen, muss sich ein weiterer Schritt anschließen:  
 die völlig getrocknete Probe wird in ein Wasserbad getaucht. Dort belässt man sie so lange, bis keine Gewichtszunahme mehr festzustellen ist (vollständige Sättigung = maximal mögliche Wasseraufnahme).  
 Dann setzt man die enthaltene Wassermenge ins Verhältnis zu der maximal möglichen Wassermenge (hier gibt es die Parallele zur Definition relativer Luftfeuchte):

$$\text{Durchfeuchtungsgrad} = \left[ \frac{m_{\text{enthaltenes Wasser}}}{m_{\text{maximal aufnehmbares Wasser}}} \right]$$

### Zu beachten ist:

- Es gibt Betrachtungsweisen, bei denen die Wassermenge in Bezug gesetzt wird zur *feuchten* Probe (bei einigen Branchen und im englischsprachigen Raum).
- Es gibt die volumenbezogene Angabe (Vol-%), die mit der massebezogenen Betrachtung (M-%) nicht verwechselt werden darf.
- Aus der gedarrten Probe wurde alles Wasser ausgetrieben und damit eine Trockenheit erreicht, die unter natürlichen Umständen niemals eintritt. Eine Trockenheit, die sich in unserem Wohn- oder Umweltklima einstellt, wird "Ausgleichsfeuchte"<sup>10</sup> genannt. Sie hängt von der umgebenden Luftfeuchte ab.

Das Darr-Wäge-Verfahren nimmt durch Trocknung und Tränkung mehrere Tage in Anspruch, setzt klimatisierte Trockenöfen und Präzisionswaagen voraus und liefert schließlich Werte, die vor allem in der Forschung relevant sind (Werkstoffkunde, Grundlagenuntersuchungen, Abgleichwerte für andere Verfahren usw).

Im folgenden werden weitere Verfahren zur Bestimmung der Materialfeuchte besprochen, die in finanzieller und praktikabler Hinsicht vor allem für den Einsatz in der täglichen Praxis geeignet sind. Den Feuchtegehalt U oder gar den Durchfeuchtungsgrad liefern diese Verfahren an unbekanntem Materialien und ohne weiteren Abgleich mit der Darr-Wäge-Methode jedoch nicht.

<sup>10</sup> Die Begriffe "Ausgleichsfeuchte" und "Gleichgewichtsfeuchte" sind in der Literatur nicht sauber und durchgehend gegeneinander abgegrenzt und werden synonym verwendet. Zur Definition in diesem Ratgeber s. Kap. 1.4.1.3



## Messgrößen und Messverfahren

### 1.4.1 Die verschiedenen Messverfahren - Möglichkeiten und Grenzen

#### 1.4.1.1 Streufeldverfahren

Eine Elektrode mit Spule wird auf ein Bauteil aufgesetzt. Eine angelegte Wechsel-Niederspannung erzeugt ein elektrisches Feld, das - in Abhängigkeit von der Bauart - das Bauteil mehr oder minder tief durchdringt. Gängige Bauformen sind Kugelkopf und Schleifenkopf. Die Eindringtiefe beträgt zwischen 2 und 5 cm. Diese hängt von der Geometrie des Bauteils und dem Schichtenaufbau ab. Im Baustoff enthaltenes Wasser beeinflusst das elektrische Feld stark. Feldänderungen sind daher ein Maß für den Wassergehalt.

Die Art des Baustoffs beeinflusst das Messergebnis erheblich. Metalle im Untergrund (z.B. Armierungseisen und Wasserrohre) führen zu starken Veränderungen (vgl. Funktionsprinzip von Kabelsuchgeräten). Selbst bei gleichartigen Baustoffen, z.B. Ziegelsteinen, führen unterschiedliche Dichten zu verschiedenen Messwerten.

Zudem führen Inhomogenitäten (Hohlräume, Fugenmörtel, Mischmauerwerk) zu Schwankungen und "Mischwerten". So wird verständlich, dass die Messgeräte nicht direkt den Wassergehalt liefern, sondern nur eine Ausgangsspannung messen. Diese wird meist in dimensionslose "Einheiten" oder "Digits" umgesetzt oder zeigt mit Leuchtdioden die Zustände "trocken", "feucht" und "nass" an.

Hochwertige Geräte ermöglichen eine individuelle Skalierung durch den Nutzer.

Von dem angezeigten Wert auf den Feuchtegehalt  $U$  zu schließen ist zwar möglich, aber nur durch einen vorherigen Laborabgleich nach der Darr-Wäge-Methode für den verwendeten Stoff mit seiner ganz spezifischen Dichte.

In der Praxis werden diese Geräte gerne gerne zur Leckortung eingesetzt, da sie beispielsweise Fliesen durchdringen. Wasser im Untergrund lässt sich räumlich eingrenzen, auch unter (dünnen) Estrichen, Gummibelägen oder Laminatböden. Der zweite Vorteil, die Zerstörungsfreiheit, ist nützlich bei sehr harten, sehr dichten oder sehr wertvollen Oberflächen (Mosaik, Fresken, Steinplatten).

Die Geräte erlauben auch eine gute Aussage über die Schadentwicklung: z.B. ob Bauteile tendenziell austrocknen, gleich feucht bleiben oder auffeuchten. Hierzu werden zwei bis drei Messungen, in jeweils

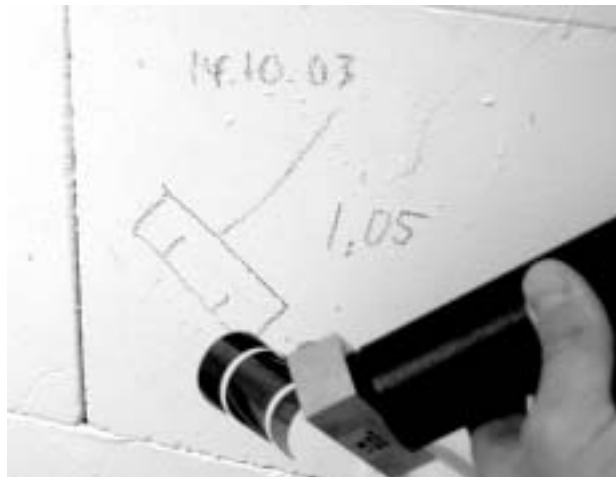
## Messgrößen und Messverfahren

mehrwöchigem Abstand, gemacht. Die Lage der Messpunkte und die Messwerte müssen dabei sehr genau protokolliert werden. Damit die Wiederholungsmessung(en) exakt an den Messpunkten stattfindet, zeichnet man ein Gitterraster auf das Bauteil.

**Achtung:** Je nach Bauform hat auch die Stellung der Sonde (schräg oder gerade, angedrückt oder lose aufgesetzt) Einfluss auf den Messwert! Mehrfaches Aufsetzen der Sonde auf eine Stelle gibt einen Eindruck, ob richtig gemessen wurde. Im Idealfall erhält man identische Werte. Die Reproduzierbarkeit lässt sich verbessern durch eine streng definierte Sondenposition. Beispielsweise kann die Sonde flach auf der Oberfläche angelegt werden, womit unterschiedliche Winkel beim Aufsetzen ausgeschlossen sind.



Abb. 10: Handhaltung einer Schleifenkopfsonde



**Abb. 11: Markierung ermöglicht die Wiederholungsmessung**

Da wie angedeutet geringste Verschiebungen (oder Winkeländerungen) der Sonde den Messwert erheblich beeinflussen, lassen sich Eckbereiche, Ixel und rauhe/unebene Oberflächen kaum präzise messen. In Eckbereichen ergeben sich auf Grund der Massekonzentration tendenziell höhere Werte, die einen erhöhten Wassergehalt meist nur vortäuschen.

Eine Genauigkeitsbetrachtung erübrigt sich bei diesem Messverfahren, weil die geschilderten Handhabungsunterschiede und Inhomogenitäten des Untergrunds viel größere Schwankungen verursachen als die Gerätetechnik. Aus diesem Grund verzichten viele Hersteller auf Genauigkeitsangaben.

## Messgrößen und Messverfahren

### 1.4.1.2 Leitfähigkeit

Wasser ist elektrisch leitend und beeinflusst durch seinen Widerstand die elektrische Leitfähigkeit eines wasserhaltigen Baustoffs. Diese Tatsache macht man sich bei der Messung des Wassergehalts zunutze.

Hierfür müssen zwei Elektroden in das Bauteil eingeführt oder zumindest aufgesetzt werden. Man kann dies erreichen mit

- Bürstensonnen, die in zuvor gebohrte Löcher gesteckt werden (in Beton und Mauerwerk)
- Einschlagsonden, die mit Hammerschlägen eingetrieben werden (vor allem für Prüfungen in Holz)
- Nadelspitzen, die eingedrückt werden (bei Putzen und Estrichen).



**Abb. 12: Sondentypen für Leitfähigkeitsmessung**

Das Messergebnis wird in geringem Umfang durch Temperatur beeinflusst, was sich aber gerätetechnisch kompensieren lässt. Die Eindringtiefe der Nadeln bzw. Bürstensonnen und deren Abstand haben ebenfalls einen kompensierbaren Einfluss auf das Messergebnis. Wenn der Abstand der Löcher nicht schon bauartbedingt vorgegeben ist, muss er aus der Bedienungsanleitung entnommen werden.

Bei gebohrten Löchern findet durch die Wärme des Bohrvorgangs eine Trocknung statt, die durch eine ausreichend lange Wartezeit kompensiert



## Messgrößen und Messverfahren

werden muss. Das Bohrloch muss solange verschlossen werden. Am einfachsten durch ein Stück Kunststoff-Klebeband.

Die größte Unbekannte bei der ganzen Messung liegt in der chemischen Zusammensetzung des Bauteils. So ist die Leitfähigkeit - bei identischem Wassergehalt - für jeden Baustoff anders: Klinker, Beton, Kalksandstein, Mörtel verhalten sich unterschiedlich abhängig von ihrer Dichte.

Nutzt man die Geräte zur Schadensdiagnose, ist zudem zu beachten, dass Feuchtigkeit, die schon länger im Bauteil herrscht, Salze gelöst und verlagert haben kann. Salze leiten elektrisch, d.h. erhöhte Salzfrachten erhöhen die Leitfähigkeit gegenüber dem Standardsalzgehalt des Baustoffs unter Umständen um ein Vielfaches. Salze werden immer mit dem Wasserstrom zur Verdunstungsfläche hin befördert. An dieser Verdunstungsfläche (dem Innenputz) wird meistens gemessen. Das kann dazu führen, dass hier ein höherer Wassergehalt angezeigt wird als tatsächlich vorliegt.<sup>11</sup>

In der Praxis eignen sich die Geräte mit Aufsetzdornen für eine schnelle Diagnostik. Haupt-Anwendungsfall ist hier die Beurteilung, ob Wandflecken einen Alt-aber-behoben-Fall oder einen Akutschaden darstellen. Zeigt das Messgerät "trocken" an, ist die Wand - zumindest an der Oberfläche - tatsächlich trocken. Zeigt das Gerät "feucht" an, kann Wasser und/oder Salze vorliegen: entweder viel Wasser mit wenig Salzen oder wenig Wasser mit viel Salzen.

Durch Beobachtung (Ist der Putz verfärbt oder zermürbt?) und ein begleitendes anderes Messverfahren sind recht zuverlässige Aussagen möglich. Zeigt das Gerät völlige "Nässe" an, ist davon auszugehen, daß der Baustoff tatsächlich nass ist.

Bei der Messung an durchfeuchteten Putzen sagt die benötigte Eindrückkraft oft schon viel über die Schädigung aus: feuchte Gipsputze, die bereits seit längerer Zeit durchfeuchtet sind, sind zermürbt und bieten den Dornen keinen Widerstand.

Wer an verschiedenen Stellen immer Vollausschlag abliest, sollte untersuchen, ob eine Alutapete aufgebracht wurde!

Feuchte Tapeten sollten für die Messung ohnehin entfernt werden, da sie auf Grund ihrer Hygroskopizität das Wasser gut halten und hohe Anzeigewerte verursachen.

<sup>11</sup> Es ist richtig, dass Salze hauptsächlich beim Verfahren der Leitfähigkeitsmessung direkt Einfluss auf den Messwert nehmen. Es gibt allerdings einen zweiten Zusammenhang, der für alle Verfahren zutrifft: eine erhöhte Salzkonzentration bewirkt eine Feuchtaufnahme aus der Luft (Hygroskopie der Salze). Diese Baustoffe haben also eine erhöhte "Ausgleichsfeuchte" und werden bei einem gewissen Umgebungsklima niemals so trocken wie "unverseuchtes" Material. Siehe dazu auch Kap. 1.4.1.3.



## Messgrößen und Messverfahren

Das Leitfähigkeitsverfahren kann - in Verbindung mit den ca. 30 cm langen Bürstensonden - auch benutzt werden, um Feuchteprofile zu erstellen, beispielsweise

- in verschiedenen Höhen (bei konstanter Tiefe), oder
- in verschiedener Mauerwerkstiefe (in nur einem Bohrlochpaar).

**Begriffs-  
inkonsistenzen**

Das erlaubt einen Rückschluss z.B. darauf, ob Nässe von außen kommt, oder ob aufsteigende Nässe vorliegt. Im idealisierten Fall ergeben sich mathematisch "saubere" Kurven. In der Praxis führen Inhomogenitäten (verschiedene vermauerte Steinarten, Mauerwerksfugen, Hohlkammern) zu stark differenzierten Kurven, aus denen nur Trends abgelesen werden können. Inhomogenitäten erkennt man im Vorfeld schon durch die Widerstandskraft beim Bohren und der Farbe des zu Tage kommenden Bohrmehls.

Das Verfahren kann auch für die Prüfung der Belegreife eingesetzt werden, unter drei Bedingungen:

1. Die Rezeptur des zu prüfenden Baustoffs muss definiert werden können (z.B. Estrich ZE 20)
2. Für diese Rezeptur müssen Soll- oder Grenzwerte vorliegen (d.h. Im Labor muss einmal ein Abgleich durch das Darr-Wäge-Verfahren gemacht worden sein)
3. Der Eintauchweg der Bürstensonden muss definiert sein, durch einen Anschlag o.ä.

Ohne die genannten Voraussetzungen des Abgleichs bringt auch das Leitfähigkeitsverfahren keine direkten Feuchtwerte, sondern nur Anhaltspunkte zur Klassifizierung. Diese Aussage "trocken-feucht-nass" gilt jedenfalls für mineralische und industrielle Baustoffe.

Anders bei Holz: weil sich die Holzarten untereinander zwar unterscheiden, es aber unter Hölzern einer Holzart kaum Abweichungen gibt, existieren gute Bezugswerte, anhand derer der Feuchtegehalt genauer bestimmt werden kann.

**Beispiel:** Fichte weist eine andere Leitfähigkeit auf als Buche. Fichtenholz aus Skandinavien unterscheidet sich jedoch nicht relevant von Fichtenholz aus dem Schwarzwald.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Die Holzfeuchtemessung soll hier nicht näher beschrieben werden, da das Vorgehen aus den Bedienungsanleitungen der Hersteller entnehmbar ist.

## Messgrößen und Messverfahren

### 1.4.1.3 Gleichgewichtsfeuchte

Dieses Verfahren stellt einen Sonderfall dar, weil hier die Feuchte des Materials nicht direkt, sondern indirekt über die Luftfeuchte gemessen wird.

Und zwar die Luftfeuchte, die sich im Kontakt mit dem zu untersuchenden Bauteil einstellt. Der Grund dafür wird nach der bisherigen Schilderung der anderen Verfahren verständlich: die Messung der Luftfeuchte ist gerätetechnisch sehr zuverlässig und mit geringem Aufwand zu bewerkstelligen!

#### Definitionen und Begriffe...

Obwohl die Begriffe **GLEICHGEWICHT** und **AUSGLEICH** an sich austauschbar sind, soll im Rahmen dieses Ratgebers unterschieden werden:

*Gleichgewichtsfeuchte* soll eine *Luftfeuchte* bezeichnen, die mit einem beliebigen Wassergehalt des Baustoffs korrespondiert, d.h. mit ihm ein stabiles Gleichgewicht bildet (s.u.). Die Einheit ist % rF oder g/m<sup>3</sup>.

*Ausgleichsfeuchte* soll eine *Materialfeuchte* bezeichnen, die sich im Kontakt mit einem "normalen", durchschnittlichen Raum- oder Wohnklima einstellt. Die Einheit ist meist M-%.

Zu beachten ist, daß diese Begriffe in der Literatur unterschiedlich verwendet werden.

Weitere übliche Ausdrücke im Zusammenhang mit diesem physikalischen Phänomen sind:

Feuchteausgleichverfahren, Hydrometervverfahren, Wasseraktivität, hygroskopische Feuchte.

Für die Bestimmung dieser Luftfeuchte (der sog. Gleichgewichtsfeuchte) muss man ein geschlossenes System en miniature schaffen:

- Entweder ein abgeschlossenes Volumen an der Oberfläche des Baukörpers. Beispielsweise kann mittels einer rundum aufgeklebten Folie oder mittels eines dicht aufsitzenden Trichters solch eine Prüfkammer geschaffen werden.
- Oder man schafft solch eine Kammer im Baukörper selbst, und zwar mit einer Bohrung, die man anschließend verschließt.

Für beide Varianten gibt es gut handhabbare Hilfsmittel.

Messgrößen und Messverfahren

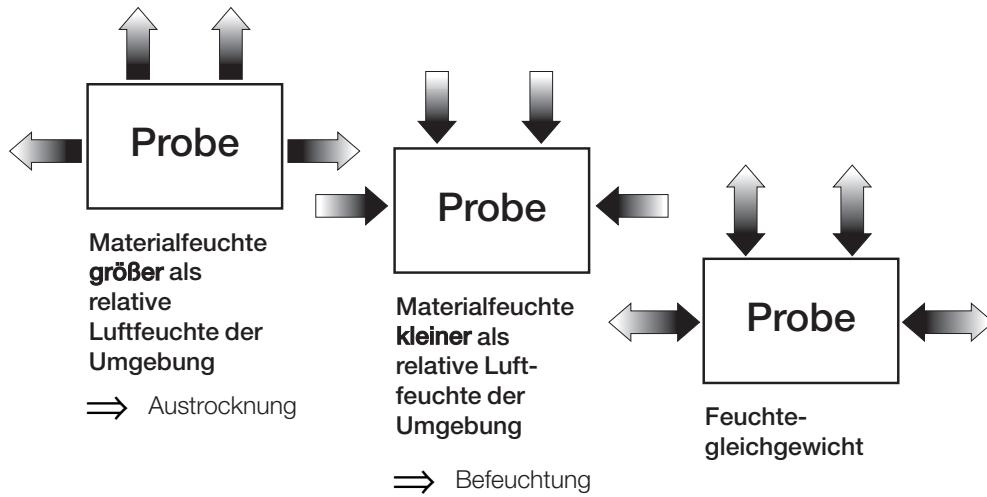


Abb. 13: Befeuchtung, Trocknung, Ausgleichszustand

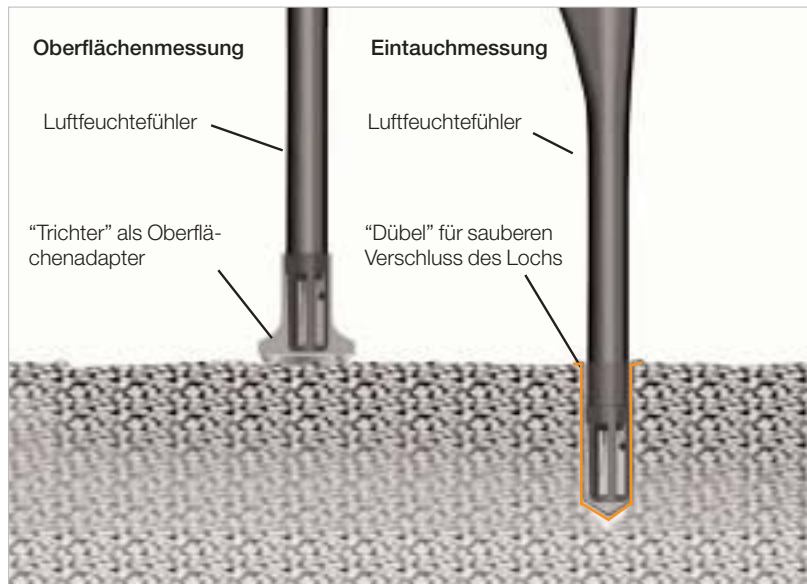


Abb. 14: Prinzipskizze abgeschlossenes Volumen

## Messgrößen und Messverfahren

Physikalisch gibt es unter der Voraussetzung des abgeschlossenen Volumens einen Zusammenhang:

- Jeder Materialfeuchte lässt sich eine Luftfeuchte zuordnen, die sich am Baukörper einstellt.
- Oder umgekehrt: die Lagerung eines Baustoffs in einem gewissen Klima führt zu einer bestimmten Materialfeuchte.

Kurven, die sog. Sorptionsisothermen, bilden diesen Zusammenhang ab. Jede Sorptionsisotherme gilt nur für den spezifischen Baustoff, mit dem sie ermittelt wurde, denn jeder Baustoff hat andere sorptive (saugende) Eigenschaft. Sorptionsisothermen sind aus der Literatur oder teilweise auch vom Baustoff- oder Gerätehersteller erhältlich.

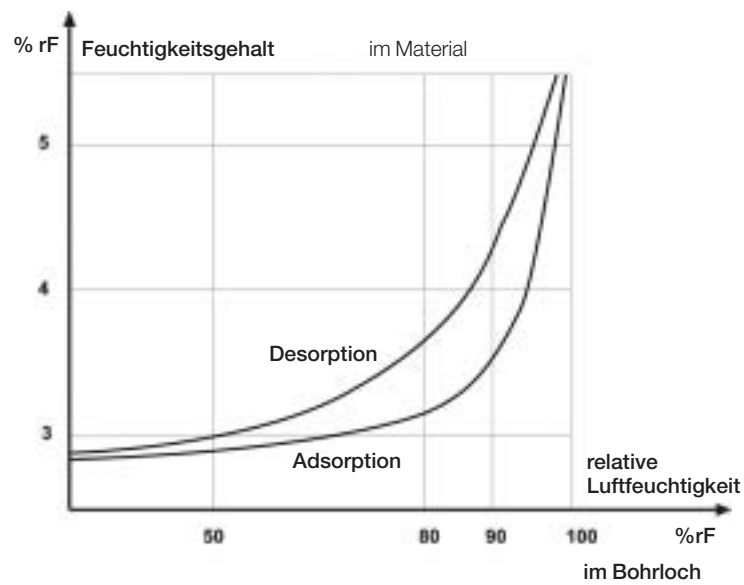


Abb. 15: Beispiel einer Sorptionsisotherme

## Messgrößen und Messverfahren

### **Versalzung führt zu einer Erhöhung der Ausgleichsfeuchte!!!**

Im Diagramm verläuft eine salzbeeinflusste Sorptionsisotherme höher als eine vergleichbare Isotherme für unversalzene Material.

Im Umkehrschluß bedeutet dies, daß man zur Trocknung versalzener Körper theoretisch wesentlich trockenere Umgebungsluft bräuchte. Versalzene Mauerwerke machen Probleme beim Anstreichen und konventionellen Verputzen. Flecken schlagen innerhalb kürzester Zeit durch.

Salze können vor Ort qualitativ und halbquantitativ, im Labor auch ganzquantitativ bestimmt werden. Wichtig ist dies nur bei komplexen Sachverhalten, z.B. der Restauration historischer Bausubstanz mit speziellen Putzen.

Die Messung der Gleichgewichtsfeuchte ist gerätetechnisch einfach und unabhängig vom Fabrikat. Nachteilig ist jedoch die relativ lange Angleichzeit, die in der Praxis - bei kleinen Trichtern an der Oberfläche - etwa 1 Minute beträgt. Das Luftpolster muss erst mit eindiffundierender Feuchte angereichert werden. Je größer das Luftpolster ist, desto länger dauert dieser Vorgang. Bei größeren Luftpolstern, etwa unter aufgeklebten Folien oder auch in Bohrlöchern (die erst abkühlen müssen) beträgt die zusätzliche Wartezeit mindestens 30 Minuten.

Auf Grund dieser Angleichzeit und ggf. der längeren Wartezeit ist das Verfahren zur Leckortung nicht praktikabel. Das Abtasten vieler Punkte bedarf eines hohen Zeitaufwands und macht diese Lösung unrentabel. Gut geeignet ist das Verfahren hingegen für:

- Schimmeldiagnostik, mit der Fragestellung: befeuchtet die Luft die Wand, oder befeuchtet die Wand die Luft?
- Verifizierung eines anderen Verfahrens (beispielsweise führt man erst eine Widerstandsmessung durch, bei nicht eindeutigen Ergebnis folgt dann eine Ausgleichsfeuchte-Messung)
- Kontrollprüfungen bei technischer Bautrocknung, an Putzen, aber auch unter Estrichen
- Belegreifprüfung. Zerstörungsfrei ist nur die Messung an der Oberfläche des Estrichs, aussagekräftiger ist aber eine Bohrung. Für die Rezeptur des geprüften Werkstoffs muss eine Sorptionsisotherme (im Labor mit Darr-Wäge ermittelt) oder eigene Erfahrungen vorliegen. Eine völlig erfolgte Austrocknung wird in Wohngebäuden auch ohne Sorptionskurve zweifelsfrei erkannt Restnässe kann aber nur mit einer Sorptionskurve bewertet werden.



## Messgrößen und Messverfahren

### Es gilt zu beachten:

#### Bei Trichtermessungen:

- Der Trichter muss rundum dicht aufliegen. Kippeln oder Abheben führt zu einem teilweisen Luftaustausch, worauf sich die Angleichzeit verlängert. Rauhe und unebene Oberflächen lassen sich standardmäßig nicht mit Trichter messen.
- Der Trichter darf nicht mit der Hand erwärmt werden. Man umgeht den Einfluss der Temperatur allerdings, wenn man mit dem Luftfeuchtefühler nicht die Relativ-Luftfeuchte, sondern die Absolut-Luftfeuchte ermittelt.

#### Bei Bohrungen:

- Die Erwärmung und Trocknung durch den Bohrvorgang muss völlig abgeklungen sein. Es empfiehlt sich eine 1- bis 2stündige Wartezeit. Führt man keine Serienbohrungen/-messungen an vielen Löchern hintereinander aus, führt dies in der Regel zu einem nochmaligen Ortsbesuch.
- Der Verschlussdübel muss stramm sitzen.

#### Allgemein:

- Es ist generell empfehlenswert, Absolut- und Relativfeuchte mit der dazu gehörigen Temperatur zu notieren. Auch die Feuchte der Raumluft sollte festgehalten werden.
- Werden Dichtmassen zur hermetischen Abdichtung der Messkammer benutzt, dürfen diese kein Wasser abgeben (ungeeignet z.B. Kaugummi oder Dichtmassen auf Wasserbasis). Gut eignet sich dauerplastische Knetmasse (z.B. "Plastik-Fermit" aus dem Sanitärfachhandel).

## Messgrößen und Messverfahren

### 1.4.1.4 Weitere Verfahren

Das häufig angeführte thermische Verfahren der Infrarot-Messung (Thermografie oder berührungsloses Thermometer) ist zwar unersetzlich für die Ortung von Warmwasser-Lecks, für die Beurteilung des Wassergehalts ist das Verfahren jedoch nicht geeignet.<sup>13</sup>

Beim chemischen **CM-Verfahren** wird ein ca. daumengroßes Stück des Baustoffs herausgestemmt, in einer festgelegten Prozedur zerkleinert, gewogen, mit einem Reagenz versehen und in eine Druckflasche gefüllt. Durch Schütteln reagiert das freiwerdende Wasser aus der zermahlene Probe mit dem Reagenz (Kalziumkarbid) und es entsteht das Gas Azetylen. Der dadurch entstehende Druckanstieg in der Flasche ist ein Maß für das enthaltene Wasser. Die mit dem CM-Gerät ermittelten Wassergehalte liegen in der Regel niedriger als mit der Darr-Wäge-Methode. In den gängigen Grenz- und Richtwerten, z.B. für Estriche, ist diese Tatsache bereits berücksichtigt. Grenzwerte werden mit "CM-%" kenntlich gemacht, und sind auch nur in Kombination mit dem CM-Verfahren anwendbar.

Prinzipbedingt kommt nicht alles enthaltene Wasser zur Reaktion bzw. verläuft die Reaktion nur langsam. Deshalb sind die Schüttel- und Ablesezeiten genau einzuhalten. Das Gerät muss ferner regelmäßig auf Druckdichtheit und Anzeigegenauigkeit überprüft werden, wozu es spezielle Reagenz-Prüfkapseln zum Einfüllen gibt.

Das CM-Verfahren ist ein Verfahren, das bei uns durchgängig bekannt und anerkannt ist (anders in Skandinavien). Dies ist wahrscheinlich auf die frühe Markteinführung zurückzuführen. Nachteilig ist der Reagenzverbrauch, die zeitraubende Prozedur und - bei fehlender Sorgfalt - Ergebnisunterschiede verschiedener Anwender.

Wie bei anderen verbrauchenden Verfahren ist das Messergebnis streng genommen nicht reproduzierbar (zur Verifizierung bedarf es einer zweiten Materialprobe, die nicht zwingend mit der ersten identisch ist). Andere Messverfahren haben durchaus das Potenzial, bei gleicher Zuverlässigkeit die geforderte Funktion zu erfüllen.

<sup>13</sup> Es gibt industrielle Anwendungen, bei denen die Infrarotmessung zur Bestimmung des Wassergehalts an Oberflächen eingesetzt wird. Es gibt jedoch keine Geräte dieser Art, die für den Baustelleneinsatz geeignet wären (Gewicht, Größe, Kosten).



## Messgrößen und Messverfahren

Die besten Aussichten hat hier das **Ausgleichsfeuchte-Verfahren**, da es preisgünstig ist, bauartunabhängig funktioniert und wenig Nebenempfindlichkeiten aufweist. Die benötigten Abgleichkurven werden mit zunehmender Erfahrung vorliegen (so wie heute die CM-Grenzwerte).

Das **Mikrowellen-Verfahren** ähnelt in seiner Wirkungsweise dem Streufeld-Verfahren, arbeitet aber mit anderen Frequenzen und ergibt höhere Eindringtiefen. Die Sonden haben in etwa das Format einer großen Taschenlampe und ergeben, je nach Bauart, verschiedene Eindringtiefen, die von 5 bis 30 cm reichen. Auch dieses Verfahren reagiert - neben dem Wassergehalt - auf die Baustoffeigenschaften (Rezeptur, Dichte). Besonders Metalle und Baustoff-Luft-Grenzflächen stören die Messung. Hochlochziegel mit den darin enthaltenen zahlreichen Kammern können also nicht gemessen werden. Armierungseisen werden erkenntlich durch höhere Messwerte, die in wiederkehrenden Abständen auftauchen.

Ein Mikrowellen-Messgerät entspricht in den Abmaßen anderen Handmessgeräten, liegt jedoch preislich höher.

Am Rande sei noch die sehr kostenintensive **Neutronensonde (Troxlersonde)** erwähnt. Sie ist im Umgang mit schwach radioaktivem Material und den entsprechenden Handhabungs- und Transport-Berechtigungsscheinen schon recht komplex in der Anwendung. Durch ihre hohe Eindringtiefe und ihre Form (ähnlich einem Stielstaubsauger) ist sie gut geeignet, Wasserverteilungen in Flachdächern sichtbar zu machen.



### 2. Grundsätzliches zu Messungen

#### 2.1 Der Autoritätsvorsprung

Zur überzeugenden Darstellung und Interpretation wichtiger Sachverhalte bedarf es einer soliden Datengrundlage. Basis dieser soliden Datengrundlage sind durch einen Fachmann korrekt durchgeführte und verifizierbare Messungen.

Doch nur die Verbindung der exakten und verifizierbaren Datenerfassung bzw. Messung mit einer professionellen Präsentation und Vermittlung der Ergebnisse, führt zu einer breiten Akzeptanz durch alle Bevölkerungsschichten.

Diese Akzeptanz bedeutet gleichzeitig einen Autoritätsvorsprung ist jedoch nur aufrecht zu erhalten, wenn die gewonnenen Aussagen tatsächlich technisch untermauert sind, d.h. keine Argumentations- und Datenlücken nachweisbar sind.

**Daher ist es wichtig,**

- die Messungen von der Systematik her korrekt durchzuführen,
- die Messgeräte fachgerecht zu handhaben,
- die Ergebnisse nachvollziehbar zu dokumentieren
- und außerdem mit der gebotenen Vorsicht zu interpretieren.

#### 2.2 Die Digitalgläubigkeit

Selbst der Fachmann unterliegt der Gefahr, den Aussagen seiner Messgeräte vorbehaltlos zu glauben. Bei Geräten mit Digitalanzeigen ist das noch ausgeprägter als bei alt hergebrachten Zeigergeräten, weil die auf Nachkommastellen aufgelösten Ergebnisse eine Exaktheit vortäuschen, die so nicht existiert. Auch Schwankungen sind für das Auge schwieriger zu erfassen als bei einem hin- und herschlagenden Zeiger.

**Bei einer Messung muss man sich immer fragen:**

- Ist der abgelesene Messwert überhaupt plausibel?
- Gibt es für den Wert eine einleuchtende Erklärung?
- War er in dieser Höhe zu erwarten?
- Ist dieser Wert physikalisch überhaupt möglich?
- Mache ich einen eklatanten Fehler bei der Durchführung und Handhabung?
- Ist bei Zweifeln die Messung reproduzierbar?



## Grundsätzliches zu Messungen

Wenn z.B. ein Materialfeuchtefühler bei jedem erneuten Aufsetzen auf dieselbe Wandstelle andere Werte zeigt, ist die Einzelmessung nicht verwendbar.

Vermutlich ist die Stellung des Fühlers unterschiedlich, die Oberfläche zu rau, der Fühler wird nicht ruhig gehalten usw. Um diese Zufälligkeiten statistisch auszuschliessen, müsste man viele Wiederholungsmessungen machen, und dann Mittelwert und Standardabweichung ausrechnen.

### Welche Toleranzen sind zu erwarten?

Ungenauigkeiten sind auf mehrere Quellen zurückzuführen:

- vom Fühler
- vom Handgerät
- von Nebeneinflüssen (Temperatur, Salze)
- von Handhabungsunterschieden.
- Wie verhält sich Messgenauigkeit zu Anzeigegegenauigkeit?

### Welche Toleranzen sind zu erwarten?

**Beispiel:** wenn eine Feuchteangabe von 21%rF mit einem Fehler von  $\pm 5\%$ rF behaftet ist, macht es wenig Sinn, eine Nachkommastelle anzugeben. Erst recht nicht, wenn es sich um eine stichprobenartige Messung handelt, die eine Stunde später ganz andere Werte ergeben könnte. Eine gutachterliche Aussage darf auf keinen Fall auf solch einen Wert gestützt werden.

## Grundsätzliches zu Messungen

### 2.3 Die vier Grundbausteine bei Messungen

Eine Diagnose am Bauwerk besteht nicht nur aus Messungen. Vier Grundbausteine müssen sich hier ergänzen:



Abb. 16: "Puzzle" aus Beobachtung, Interview, Messung, Kombination

#### Beobachtung

Erfahrene Prüfer können oft schon aus dem Schadensbild eine Ursache für einen Schaden erahnen (Beobachtung). Es besteht dabei natürlich durch den Wiedererkennungseffekt die Gefahr, vorschnell zu einem Schluss zu kommen, ohne andere noch in Frage kommende Ursachen geprüft und ausgeschlossen zu haben.

Die Messtechnik kann dann die entscheidende Hilfe dabei sein, den Verdacht zu erhärten und andere Ursachen zu widerlegen.

#### Interview

Psychologisch von grosser Bedeutung ist desweiteren die Befragung der Bauherren. Es ist gut, wenn die Betroffenen sich miteinbezogen fühlen. Zum anderen ergeben sich durch das Erfragen des zeitlichen Verlaufs, mit dem ein Schaden eingetreten ist, oft wertvolle Hinweise. Sagen die Befragten beispielsweise aus, ein Feuchtfleck sei nach einer starken Kälteperiode aufgetreten, wird man verstärkt einen Frostschaden der Wasserleitung in Erwägung ziehen und untersuchen.



## Grundsätzliches zu Messungen

### Typische Fragen sind:

- Wann ist der Schaden aufgetreten?
- Bei welchem äußeren Einfluss und bei welcher Wetterlage trat der Schaden auf?
- Falls mehrere Symptome vorliegen: In welcher zeitlichen Reihenfolge traten sie auf?
- Besteht das Phänomen ununterbrochen oder wiederkehrend?
- Falls Phänomene wiederkehren: In welchen Abständen oder bei welchen Anlässen?

Wenn dieses "Interview" geführt wurde, ergeben sich daraus oft Ansätze für eine sinnvolle Durchführung der Messungen.

### Kombination

Kombiniert man die gewonnenen Erkenntnisse, sollte sich schließlich ein schlüssiges Bild ergeben. Dieses Zusammensetzen des Erkenntnis-Puzzles gelingt nicht immer vor Ort, sondern bedarf oft mehrerer Tage intensiver Überlegung, bzw. gedanklicher "Reifung". Dies führt in vielen Fällen auch zu einer Entscheidung, wie bei einem zweiten Ortstermin letztendlich Klarheit über das Problem und dessen Lösung geschaffen werden kann.

### Messung

Bei Beginn einer Messung muss klar sein, wie sich die eigentliche Fragestellung darstellt. Oft geschieht dies intuitiv.

Es ist unbedingt vorteilhaft, sich vorab im klaren zu sein, welche Messwerte man aus der Erfahrung erwarten kann und welche Messwerte eine These belegen oder widerlegen würden.

Für die meisten Fragestellungen empfehle ich dringend eine exakte Aufzeichnung der Messwerte. Dies kann ein handschriftliches Protokoll, ein am Laptop erstelltes Protokoll oder der Papierrollen-Ausdruck des Messgeräts sein.

*Wichtig sind dabei:* Datum, Wohnung/Raum/Bauteil, Messgröße und Umgebungsklima.

Protokollvordrucke sind sehr nützlich. Sie sorgen dafür, dass nichts vergessen wird und stellen den Sachverhalt im immer gleichen Schema dar. Man kann sich solche Vordrucke selbst entwerfen, oder fertige Vordrucke beziehen (Bezugsquelle beim Autor).

## Grundsätzliches zu Messungen

18.10.2013

**Aufnahmeprotokoll (Messung)**

**Datum:** 18.10.2013    **Zeit:** 11:33    **AG:** 100-Blöckenweg    **Adr:** Eichenweg 10, 8124 - Arbon

**Wohnung:**    **Raum:**    **Ausrichtung:** Süd, Ex-Rückwand, Ost-West

**Geschoss:** 00    **Messrastr:** Höhe 10 x Breite 10

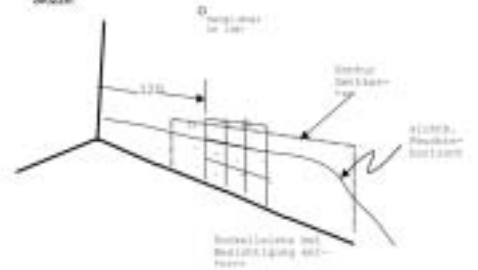
**Messwert:**  Streufeld     Widerst. Dorn     Widerst. Borste     Ausgl.

**Sondenausrichtung:** b. Streufeld **M** ggf. Bohrlochtiefe **10**

**Skalierung:** b. Streufeld **0** bis **10**

**Oberfläche:** Gippsart, Aufsaugta-    **Raumklima:** 18°, 60% rF

**Skizze:**



Messp.	Messwert <sub>1</sub>	Messwert <sub>2</sub>	T <sub>Luft</sub>	Messp.	Messwert <sub>1</sub>	Messwert <sub>2</sub>	T <sub>Luft</sub>
1	3,0	3,0	18	09	3,1		
2	2,8			10	4,4	2,2	blinded
3	2,8			11	2,8		
4	3,1			12	3,1		
5	3,1	3,0		13			
6	3,1			14			
7	3,5			15			
8	3,3			16			
<b>Werg.wert</b>	3,3	3,0		<b>Werg.Lort</b>	im Höhe v. Skiz.		

**Notizen:** rückseitig gelesene Durchwände ebenfalls im Aug. raus abgedichtet (Schwarzarbeit)

Abb. 17: Ausschnitt Protokollvordruck Feuchtemessung

## Grundsätzliches zu Messungen

Ergänzende Fotos dienen dazu, auch in einigen Monaten den Vorgang wieder bildhaft zu verinnerlichen und eine weitere Sachbearbeitung zu ermöglichen (dies gibt auch Rechtssicherheit in kritischen rechtlichen Fragestellungen). Bei der Interpretation mancher Messwerte ist ausreichende Erfahrung Voraussetzung. Voreilige Aussagen den Beteiligten gegenüber sollten vermieden werden.

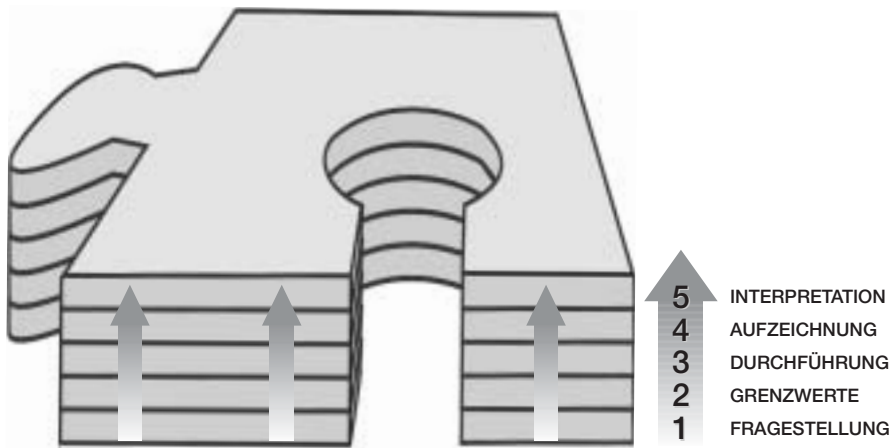


Abb. 18: "Ablaufkette": Fragestellung, Grenzwertdefinition, Durchführung, Aufzeichnung, Interpretation

### 3. Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

#### 3.1 Leckortung bei Rohrleitungen

Treten große Wassermengen aus Rohrlecks werden diese in der Regel schnell erkannt: Wand oder Boden durchfeuchten innerhalb von Tagen.

Bei nur geringem Wasseraustritt kann sich die Feuchteausbreitung mehrere Wochen hinziehen. Solch geringe Wassermengen treten aus, wenn Rohre durch Korrosion oder gelöste Lötstellen nur tropfenweise Wasser durchlassen. Trinkwasserleitungen, die unter mehreren bar Druck stehen, zeigen nach der Freilegung oft einen hauchdünnen, kaum sichtbaren Strahl (Durchmesser dünner als eine Stecknadel).

Dennoch ist es nicht ungewöhnlich, dass Wände bis in 2 m Höhe und auf dem kompletten Querschnitt durchfeuchten. Ist erst einmal die ganze Wand feucht, lässt sich die Leckzone messtechnisch kaum noch eingrenzen. Das Messgerät zeigt dann an jedem Messpunkt vollständig "nass" an.

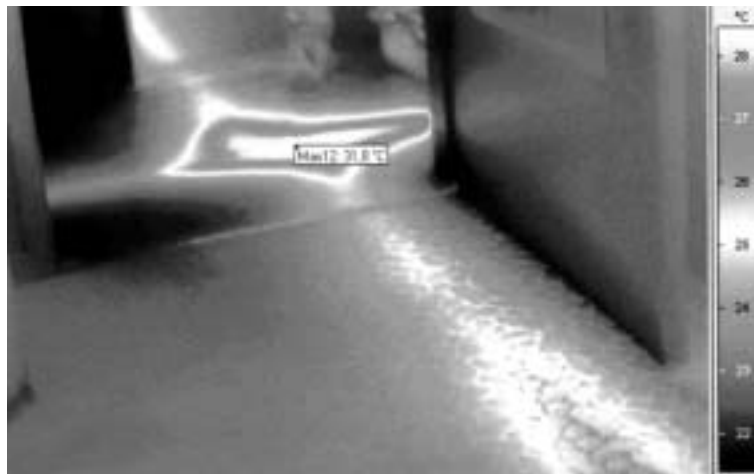
Ist das geschädigte Rohr in der Wand verlegt, breitet sich die Durchfeuchtungszone annähernd konzentrisch um die Schadensstelle aus. Liegt das Rohr im Boden, durchfeuchtet die Dämmschicht oder Trennschicht vom Estrich her. In Folge steigt das Wasser in den Wänden mit einem prinzipiell waagerechten Feuchtehorizont hoch, der sich an Innen- und Außenwänden beobachten lässt.

Lecks in Warmwasserrohren lassen sich mit Infrarottechnik gut orten. Hier ist die Infrarotkamera das Gerät der Wahl, damit die Flächen nicht einzeln mit hohem Zeitaufwand abgescannt werden müssen.

Außerdem verdeutlichen die bunten Ausdrücke (sogenannte Thermogramme) die Verteilung des Wassers auf sehr anschauliche Weise (s. Abb. 19). Die erwärmten Zonen zeichnen sich normalerweise deutlich ab. Voraussetzung ist natürlich der Austritt von Warmwasser.

Bei Fußbodenheizungen lässt man am besten über Nacht den Estrich auskühlen und nimmt die Heizung ca. 1 Stunde vor dem Ortstermin wieder in Betrieb. Die Leckstellen zeigen sich dann gegenüber der noch kalten Bodenfläche deutlicher als wenn der Estrich schon homogen durcherwärmt wäre.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis



**Abb. 19: Thermogramm bei Warmwasser-Leck**

Bei Kaltwasserleitungen grenzt man die Leckstelle messtechnisch am besten mit einem kompakten Leitfähigkeits-Messgerät (z.B. testo 606) ein. Es ist kaum zu befürchten, dass Salze bei dieser Messanwendung das Ergebnis verfälschen, weil der Zeitraum der Durchfeuchtung bei Rohrbrüchen maximal wenige Wochen beträgt.

Lässt ein Durchfeuchtungshorizont an Wänden auf Nässe unter dem Estrich schließen, kann man dies mit einer Luftfeuchtemessung in der Randfuge bestätigen. Bei freiem Wasser unter dem Estrich wird man hier Werte über 95% ablesen können. Eine weitere Eingrenzung ist auf diesem Weg nicht mehr möglich, da sich Wasser und Wasserdampf unter dem Estrich annähernd gleichmäßig verteilen.



## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis



**Abb. 20: Messung in Probebohrung eines Fliesenbodens**

Ist keine nähere Eingrenzung möglich (weil ein Messgerät beispielsweise überall Vollausschlag anzeigt), vertraut man am besten auf Intuition und seinen bautechnischen Verstand. Besonders in Altbauten gibt es hin und wieder Überraschungen, weil Leitungen dort an Stellen verlaufen, an denen man sie nie vermuten würde. Bauzeichnungen können hier bei der Suche nach bestimmten Leitungsverläufen hilfreich sein.

Eine erste Eingrenzung kann bei einer Trinkwasserleitung über die Beobachtung der Wasseruhr erfolgen. Der Verlust kann natürlich gering sein, z.B. nur mehrere Liter pro Woche. Deshalb lässt sich nur bei mehrtägiger Abwesenheit der Bewohner und ausgeschalteten Verbrauchern feststellen, ob ein Verlust durch eine schadhafte Rohrleitung o.ä. auftritt. Wichtig ist dabei das präzise Ablesen bis zur letzten Nachkommastelle der Wasseruhr. Lässt sich ein geringer Verlust nachweisen, muss man tropfende Wasserhähne und undichte Spülkasteneinläufe als Verlustursache ausschließen (sinnvollerweise schließt man die Eckventile am Anfang des Beobachtungszeitraums).



## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Zeigt die Wasseruhr keinen Verbrauch, aber stattdessen die Heizungsanlage ständigen Druckverlust und Nachfüllbedarf, muss man hier weiter suchen. Geringe Mengen Wasserverlust können aber auch undichten Pumpen oder gerissenen Kesseln zuzuschreiben sein!

Achtung: Bei Kellerwohnungen ist Nässe unter dem Estrich nicht immer einem Rohrleitungsleck zuzuschreiben! Hier kann drückendes Wasser aus dem Erdreich beteiligt sein, z.B. auf dem Weg über die Wand-Boden-Fuge, die Bodenplatte oder auch über undichte Kanalrohre (Waschküchen-Bodenablauf o.ä.).

Alles in allem sind Rohrlecks an druckbeaufschlagten Leitungen noch relativ einfach zu erkennen. Für ganz "harte Nüsse" hält die Sanitärbranche noch Spezialverfahren wie Schallortung und Spurengas-Schnüffelgeräte bereit.

### 3.2 Leckortung von Luft bei BlowerDoor-Tests Beurteilung von Luftzug

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem Medium Luft. Speziell in ausgebauten Dachgeschossen ist häufig die Frage nach Lüftungswärmeverlusten, Beheizbarkeit, Zugluft, Kaltluftschleiern und Behaglichkeit zu klären. In den vergangenen Jahrzehnten waren Dachaufbauten praktisch immer luftdurchlässig, da einer luftdichten Folienverlegung keine Aufmerksamkeit gewidmet wurde.

Um in jedem Einzelfall den messtechnischen Nachweis führen zu können, muss zuerst die Fragestellung genau definiert werden. Sie hängt maßgeblich davon ab, in welcher rechtlichen Position sich der Auftraggeber befindet (z.B. Käufer, Mieter, Vermieter, Bauträger, Planer). Sie hängt auch davon ab, ob man privatrechtliche Ansprüche klären will (Gewährleistungszeit, Baumangel), oder öffentlich-rechtliche Verstöße (Bauregeln, EnEV).

**In der Praxis treten vor allem drei Fragestellungen auf:**

- a) Entspricht die Gebäudehülle in Bezug auf Luftdichtheit den allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik und der EnEV (Gestellt wird diese Frage oft als Abnahmeprüfung im Zuge der Qualitätssicherung)?

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

- b) Sind vom Bewohner geschilderte Zug- oder Kälteerscheinungen nachvollziehbar und reproduzierbar?  
sprich: gibt es hierfür eine technische Ursache oder handelt es sich um eine Überempfindlichkeit (Diese Frage tritt meist bei mietrechtlichen Auseinandersetzungen auf)?
- c) Falls Wohnungen ungenügend beheizbar sind:
- Liegt die Ursache in der Heizungstechnik (zu kleine Heizkörper)?
  - in der Gebäudehülle (Ausführung von Luftsperrschicht, Fenster usw.)?
  - oder in der Konzeption begründet (Anordnung von Betonstützen, großflächigen Verglasungen, offenen Geschossen usw.)?

Die Unterfragen zu c) schließen sich oft an Frage b) an und zielen darauf einen Verantwortlichen zu finden (Planer, Handwerker usw.).

Diese Thematik ist im Detail sehr komplex. Deshalb soll an dieser Stelle nur grundsätzliche Prinzipien und die Anwendung von Strömungsmesstechnik erläutert werden.

**Die Anforderung:** die gesamte Gebäudehülle muss luftdicht gestaltet sein. Darunter versteht man, dass bei den üblichen Differenzdrücken zwischen innen und außen keine nennenswerten Luftströme durch Wände, Decken, Fenster und Türen entweichen bzw. eindringen. Entweichende Luft bedeutet in der Heizperiode Energieverlust und Kondensatschäden. Eindringende Luft bedeutet einen wahrnehmbaren Luftzug und eine Kaltluftschicht auf dem Boden (Der Trend zu luftdichter Bauweise entstand übrigens aus energetischen Überlegungen heraus). Die für die Hygiene benötigte Frischluft sollte durch gewissenhafte Stoßlüftung oder aber durch eine Lüftungsanlage gesichert werden.

Die Luftdichtheit kann nur für das Gebäude insgesamt bestimmt werden. Das einzige hierfür geeignete Messgerät ist eine sog. BlowerDoor. Sie ermittelt den Leckstrom quantitativ und zwar bei einer künstlich hohen Druckdifferenz, damit natürliche Witterungsbedingungen weniger Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Messung haben. Eine gewisse Undichtheit muss natürlich wegen der am Bau herrschenden Toleranzen zugestanden werden. Die oben gestellte Frage a) kann mit einer BlowerDoor in der Regel beantwortet werden. Die zur Beurteilung nötigen Grenzwerte hat der Gesetzgeber geliefert.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis



**Abb. 21: BlowerDoor eingebaut**

Um Frage b) beantworten zu können, muss man die Eintrittsstellen der Luft kennen. Auch hierbei hilft eine BlowerDoor (s. Abb. 21). Sie erzeugt den für einen erzwungenen Luftzug (wie er natürlicher Weise nur bei starkem Wind entsteht) nötigen Unterdruck. Die Eintrittsstellen der Luft lassen sich per Hand meist recht gut lokalisieren: an Steckdosen, den Drempeleinschlüssen, Klappen der Abseitenwand, Einbaustrahlern, Dachflächenfenstern, Estrich-Randfugen.



**Abb. 22: Rauchröhrchen/Steckdosentaifun**

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Sind die Stellen gefunden, gilt es zu beurteilen, ob der gefundene Luftzug tatsächlich Einfluss auf die Behaglichkeit hat oder haben kann. Oberflächliches urteilen kann verheerende finanzielle Auswirkungen haben (man denke an Prozesse um die sehr hohen Sanierungskosten).

### Es sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen:

- Temperatur der eintretenden Luft
- Lage der Leckstelle (Flur oder Sitzecke, Bettnische oder Dusche, Höhe, Abstand zu Personen)
- Geometrie der Leckstelle (Schlitz, Düse, Perforation)
- Größe/Verteilung der Leckstelle(n)
- Größe der Leckage, d.h. der Volumenstrom.

Es gibt bisher keine praktikablen Möglichkeiten, den Volumenstrom eines Lecks zu bestimmen. Die Form der Lecks an Fensterrahmen oder ähnlichen Orten verhindern meist eine Messung mit Strömungstrichtern, wie man sie an geometrisch sauber definierten Teilen anwenden kann (z.B. Raumluftauslässen von Klimaanlage). Die Volumenströme sind zudem zu klein, um sie als Differenzen bei der BlowerDoor-Messung zu erkennen.

Folglich bleibt nur, die Temperatur und die Strömungsgeschwindigkeit zu messen. Diese liefern zwar nur eine unzureichende Beschreibung, werden aber dennoch, mangels Alternativen, in den meisten Fällen zur Beurteilung herangezogen.

### Regel:

*Luftströme wirken dann behaglichkeitsstörend, wenn*

- sich Personen unbewegt oder gar unbedeckt in der Nähe aufhalten (klassisch ist der Luftzug aus der Drückerplatte des WC-Spülkastens); kritischer Abstand der "Wurfweite" ca. 0,5 m
- die eintretende Luft "ungebremst" von außen durchtritt
- der Luftzug 2 .. 3 m/s Strömungsgeschwindigkeit überschreitet (bei nennenswertem Volumenstrom, und einem Differenzdruck von 50 Pascal)
- die eintretende Luft kalt eintritt und auf ihrem Weg durch den Bauteilquerschnitt nicht aufgewärmt wird (Eintrittstemperatur mehr als 10 K unter Raumtemperatur)
- die Leckstelle punktuellen Charakter oder gar Düsenform, bei nennenswerter Größe hat (ca. Daumendicke)
- die Leckstelle schlitzförmigen Charakter bei nennenswerter Länge hat (z.B. Länge eines Fensterflügels)

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

- die Leckstelle Luft gebremst, verteilt und vorgewärmt, aber in großer Menge einlässt (z.B. nicht verputzte Bimsbetonsteine)
- die eintretende Luft durch Hinterspülung große Flächen abkühlt (z.B. Sanitärvorwand, Badewanne oder Deckenverkleidung)
- der Lufteintritt an einer windexponierten Außenwand erfolgt.

Je mehr dieser Beurteilungskriterien sich kumulieren, desto kritischer ist der Luftzug für die Behaglichkeit zu sehen. Generell ist nicht von Bedeutung, ob der konkrete Bewohner sich beeinträchtigt fühlt! Entscheidend ist, ob für einen "durchschnittlichen" Bewohner, wie er von Behaglichkeitsrichtlinien beschrieben wird, mit Beeinträchtigung gerechnet werden muss!<sup>14</sup> Selbst bei eingehaltenen Grenzwerten wird es immer Individuen geben, die auf Grund erhöhter Empfindlichkeit oder gar Einbildung zu Klagen neigen.



Abb.23: Hitzkugel- und Hitzdrahtbauweise

<sup>14</sup> Obwohl Behaglichkeitsrichtlinien wie die VDI 2080 und die DIN 1946 für Wohnräume nicht verbindlich sind, kann man deren Grenzwerte hilfsweise zur Beurteilung einer Wohnsituation heran ziehen. Insbesondere interessant sind die in diesen Normen definierten Messpunkte und Messhöhen.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis



**Abb.24: Messung an einer Fensterfuge**

Die Geschwindigkeit der eintretenden Luft wird mit Anemometern gemessen. Flügelradanemometer, wie sie in der Wetterkunde und auch an Lüftungskanälen Anwendung finden, sind für die oben beschriebene Anwendung zu unempfindlich und zu richtungsgebunden. Für Behaglichkeitsbeurteilungen können nur Hitzdraht- oder Hitzkugelanemometer eingesetzt werden. Sie liefern neben der Strömungsgeschwindigkeit auch gleich die zweite wichtige Messgröße, die Lufttemperatur, mit.

Die Geometrie der meisten Leckstellen ist nicht sauber definierbar. So ist meist unklar wo genau und in welchem Abstand sich der größte Geschwindigkeitswert einstellt. Es gilt die Sonde langsam zu bewegen, bis sich der höchste Anzeigewert eingestellt hat. In der Praxis gelingt es kaum, den Anzeigewert konstant zu halten, da es nicht möglich ist die Sonde in konstanter Position zu halten. Aus diesem Grund rundet man die Nachkommastellen auf halbe Zahlen auf oder ab.

Die direkte Berührung mit Festmaterialien ist zu vermeiden. Dies führt zu einer Abkühlung des Kugelkopfes und täuscht eine höhere Strömungsgeschwindigkeit vor. Zudem dürfen die Sonden im vorderen Bereich nicht mit der Hand umschlossen werden, da hier ein Thermofühler für die Vergleichsmessung sitzt.



## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Die Messbedingungen sind wichtig, um den Messwert interpretieren zu können. Das Protokoll muss dem Rechnung tragen.

### Beispielhaftes Protokoll

23.08.2003, Wohnung Schmidt, Leckstelle 1 = Wohnzimmer-Balkontür, Schliessfuge unten

- Messung bei 50 Pascal Differenzdruck, erzeugt per BlowerDoor, eingebaut in Wohnungstür
- gemessene Werte zwischen 2.0 und 3.5 m/s, gemessen unmittelbar am Rahmen
- Fugenlänge 70 cm
- Maximalwert in rechter Ecke bis 4.2 m/s, gemessen im Abstand von ca. 2 cm
- Außentemperatur 2° C, RT 20°
- Subjektiv per Hand wahrnehmbare Wurfweite bei einer Eintrittstemperatur von 7° C ca. 10 cm
- Messwert dort noch 0.7 m/s
  
- Alle anderen Fugen praktisch dicht (Werte unter 1 m/s)
- Lage in Balkonnische auf Südseite
- nächste Sitzgelegenheit 1m50 entfernt
- Fußbodenheizung

**=> keine Behaglichkeitsbeeinträchtigung zu erwarten**

**=> Abhilfe durch Höhenjustierung der Tür.**

In der Praxis werden geringfügige Leckagen (z.B. an Fensterrahmen) meist durch einfache Maßnahmen wie Silikonabspritzung oder Nachjustierung abgestellt. Gravierende Phänomene hingegen beruhen in der Regel auf nicht abgedichteten Dampfsperffolien. Bei derart eklatanten Verstößen gegen die Bauregeln können Ursache und Versäumnis in der Regel lückenlos belegt werden. In diesem Fall muss eine umfassende Sanierung angestrebt werden. Kleine Nachbesserungen würden keinen durchschlagenden Erfolg bringen.

Feuchte tritt dort auf, wo sich durch entweichende Warmluft Kondensat im Dachsichtenaufbau oder in Rahmenprofilen von Fenstern bildet. Die Durchnässung tritt meist lokal auf. In Dämmstoffen kann man mit einem Luftfeuchtefühler nach Nässe im Faserpaket "stochern", wobei man zuvor die Dampfsperffolie durchlöchert. Luftfeuchtwerte von nahe 100% sind - insbesondere in nicht durchlüfteten Konstruktionen - ein sicheres Indiz für



## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

freies Wasser. Durch dasselbe Loch kann auch ein Endoskop zur optischen Kontrolle auf Tropfenbildung eingeführt werden und etwas Dämmstoff mit einer handelsüblichen Greifkralle gezupft werden.

Das größte mentale Hindernis dabei ist die Zerstörung oder Demontage der Verkleidung. Hat man sich zu diesem Schritt entschlossen, schneidet man am besten die Dampfsperffolie großzügig ein, so dass man mit der Hand an die entsprechenden Stellen gelangt. Eine fehlende Randverklebung der Folie - oder eine beliebige andere Ursache, muss man ohnehin dokumentieren. Beim Einschneiden sollte ein ausreichend breiter Folienrand belassen werden, um den Schnitt hinterher mit Spezialklebeband wieder verschließen zu können.

### 3.3 Beurteilung von Feuchteschäden

#### 3.3.1 Fragestellung

Viele Häuser kämpfen beispielsweise im Kellerbereich mit Nässephänomenen wie abkreibender Farbe, zermürbtem Putz, Salzausblühungen, Modergeruch, Holzfäulnis und Schimmel.



Abb. 25: Feuchteschaden-Beispiel

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Im Schadensfall gibt es typische, immer wiederkehrende Fragestellungen:

- Handelt es sich um einen Alt- oder einen Akutschaden?
- Wo kommt das Wasser her?
- Wie lange dauert die Austrocknung?
- Wie wahrscheinlich ist der Wiederholungsfall?

Speziell die Frage "Wo kommt das Wasser her" ist vielschichtig und wirft weitere Fragen auf:

- Liegen Leitungslecks vor? (Da sich diese vom Schadensbild meist abheben, wurde deren Auffindung in Kap. 3.1 behandelt)
- Handelt es sich um Grundwasser, Erdfeuchte, Sickerwasser, Schichtenwasser oder nur zeitweilig aufstauendes Wasser?
- Handelt es sich um Oberflächenwasser, Wasser aus dem Erdreich, stammt es von Kanal- oder Fallrohren, Treppenabläufen oder undichten Zisternen?
- Tritt Wasser von außen nach innen ein, oder wird es von unten nach oben gesaugt ("aufsteigende Feuchte")?
- Dringt das Wasser durch eine undichte Aufstands-fuge (zwischen Bodenplatte und Wand), durch die Wand selbst, nur durch die Bodenplatte oder tritt es bei Bodendurchdringungen ein?
- Spielt Kondensat zusätzlich eine Rolle?

### **Diese Fragen können nur beantwortet werden mit**

- fundierter Kenntnis der üblichen Bauweisen und Abdichtungsmethoden (und deren möglichen Versagen)
- grundlegenden Kenntnissen über Boden- und Wasserbelastungsarten
- ausreichend Erfahrung.

### **Erschwerend wirkt sich aus,**

- dass Ursachen sich kombinieren können,
- Wassereintritte meist nicht gezielt reproduzierbar sind
- dass die Zugänglichkeit oft erschwert ist.

Vorausgesetzt Sie verfügen über die oben aufgeführten Kenntnisse, sollen Ihnen die folgenden Erläuterungen helfen, messtechnisch mögliche Ursachen einzugrenzen.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

### 3.3.2 Vorgehen

In einem ersten Schritt lässt man sich die Entstehungsgeschichte des Schadens schildern. Anschließend nimmt man eine Außenbesichtigung vor und protokolliert alle Aussagen und Beobachtungen. In der Regel kann man in diesem Stadium schon eine Vermutung über die Ursache und die baulichen Mängel entwickeln.

Als nächstes stellt man den Feuchtezustand fest. Dies gelingt am einfachsten und schnellsten mit einem Dornen-Leitfähigkeits-Messgerät. Die Dornen des Messgeräts werden in den Putz eingedrückt. Wichtig ist hierbei, immer auf eine gleichmäßige Eindringtiefe zu achten. Lassen sich die Dorne verdächtig leicht eindrücken, kann man von einem hohen Zermürbungsgrad des Putzes und langer Wirkdauer des Wassers ausgehen.

Nachmessungen werden an mehreren Stellen ausgeführt, um festzustellen bis in welche Wandhöhe sich auffällig hohe Messwerte zeigen.

In den meisten Fällen zeigt das Messgerät beispielsweise in 5, 10, 15 und 18 cm gleichermaßen "Nässe" an und ab 20 cm erfolgt eine sprunghafte Abnahme. Diese Höhe wird markiert. Aus mehreren nebeneinander durchgeführten Mess"spalten" kann durch das Verbinden dieser Markierungen dann ein "Feuchtehorizont" gezeichnet werden. In der Regel deckt sich der so ermittelte Feuchtehorizont mit dem sichtbaren Feuchtehorizont (Dunkelfärbung, Farbablösung usw.). Liegt der gemessene Feuchtehorizont unterhalb des sichtbaren, kann man davon ausgehen, dass sich die Wand im Prozess der Trocknung befindet. Dass der gemessene über dem sichtbaren Feuchtehorizont liegt, kommt selten vor.

Feuchtehorizont



Abb. 26: Messpunkte und Feuchtehorizont



## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Um beurteilen zu können, ob mittelfristig eine Austrocknung oder Auffeuchtung erfolgt, wiederholt man die Messung am besten in einem Zeitabstand von 2 Wochen. Die Messwerte müssen natürlich festgehalten werden. Man kann sie in einem Protokoll oder direkt auf dem Putz notieren (sofern nicht schon renoviert werden soll). Die Messpunkte bleiben anhand der Einstiche sichtbar. Bei der Nachmessung sollten die Dorne nicht in die alten Eindrückungen gesetzt werden, sondern unmittelbar daneben.

Dieses Messverfahren ist ungeeignet bei starken Salzausblühungen und nasser Tapete (oder gar Alutapete). Um in solchen Fällen überhaupt relevante Messwerte erhalten zu können, sollte die Tapete abgelöst, der Salzflaum abgekehrt und blättriger Putz entfernt werden. Dennoch kann es sein, dass wegen ständigen Vollausschlags die Messwerte nicht zu gebrauchen sind. Ein Ausweichen auf das Streufeldverfahren wird dann unvermeidbar. Zementputz oder Fugenmörtel erlaubt auf Grund seiner Härte oft keinen ausreichend langen Eindrückweg der Dorne. Auch in diesem Fall bietet sich das Streufeldverfahren an.

Beim Streufeldverfahren wird rasterförmig vorgegangen. Wichtig ist es, im Protokoll - oder direkt an der Wand - das Messraster und die Ausrichtung der Sonde genau festzuhalten. Probeweise sollte an ein und demselben Messpunkt mehrmals hintereinander gemessen werden, um die Streuung zu ermitteln. Eventuell ist der Untergrund zu uneben, um eine Reproduzierbarkeit zu erzielen!

Eine Tapete sollte in jedem Fall entfernt werden.

Als hilfreich für die Ablesung hat sich erwiesen, das Messgerät sinnvoll zu skalieren. Diese Skalierung muss notiert werden und wieder herstellbar sein. Einen guten Nullpunkt erreicht man, indem die Sonde frei in die Luft gehalten und in dieser Situation der Messwert "0" zugeordnet wird. Den zweiten Extremwert "10" erreicht man, indem die Sonde in eine gefüllte Mineralwasserflasche gehalten wird.

Gipsputz ergibt bei dieser Skalierung dann in etwa Werte zwischen 1.0 (trocken) und 6.0 (feucht).

Da nun auch das Raumklima bzw. das Wetter einen Einfluss auf die Feuchte des Putzes hat, sollte zu jeder Rastermessung auch ein Vergleichswert gehören, der an einer trockenen Wandpartie gleichen Materials abgenommen wird.

T

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

### Wichtig!

Messwerte werden verfälscht durch:

1. Inhomogenität im Untergrundmaterial
2. Messen in Eckbereichen oder an Kanten.

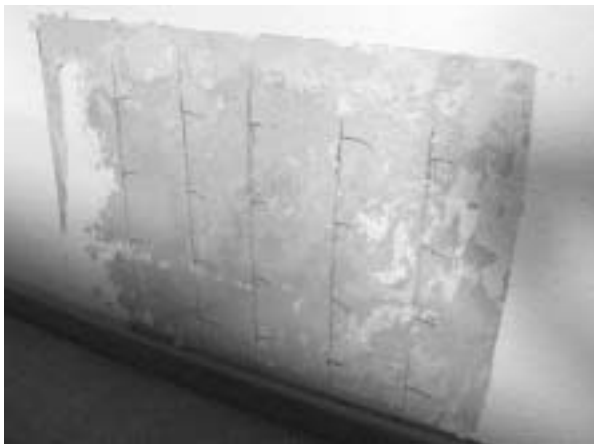


Abb. 27: Rastermessung auf Wand

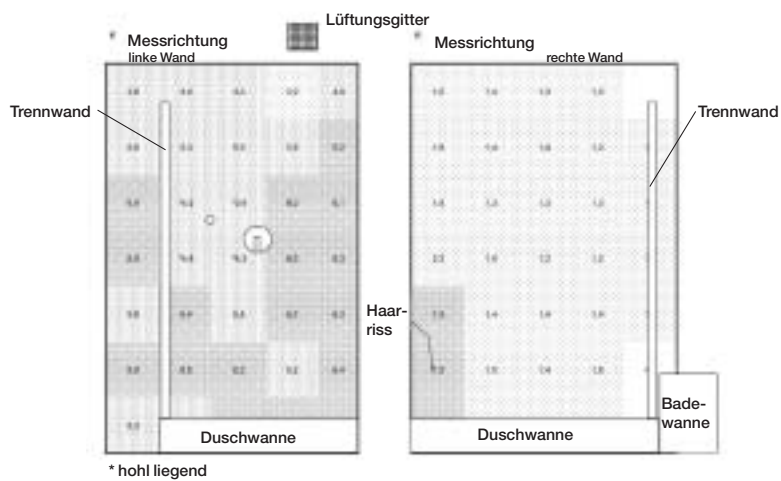


Abb. 28: Auswertungstabelle Rastermessung mit Farbstufen

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Bei großflächigen Rastermessungen ergeben sich leicht mehr als 30 Messpunkte. Hilfreich kann es sein, für die Protokollierung und die Auswertung die Hilfe einer Tabellenkalkulations-Software, basierend z.B. auf EXCEL, zu verwenden. Tabellenblätter können dann übereinander gelegt und die Differenzen farblich sichtbar gemacht werden. Austrocknungen werden beispielsweise mit Grüntönen, Aufweichungen mit Rottönen, und gleich gebliebene Werte mit Gelbton angezeigt. Man sieht auf einen Blick Feuchteverteilung und Austrocknungsverhalten (siehe Abb. 28).

Nach anfänglicher Austrocknung stagnierende Werte deuten darauf hin, dass die Wand soweit getrocknet ist, wie sie unter realen Baubedingungen trocknen kann.

Optimal ist die Kombination beider Messverfahren, nämlich Leitfähigkeits- und Streufeldmessung. Trocknungs- und Aufweichungsvorgänge sind eindeutig, wenn sie sich in den Messwerten beider Verfahren widerspiegeln.

Neben der Aufrasterung und Wiederholungsmessung kann man auch anderweitig in der Höhe, als auch im Wandquerschnitt, ein Feuchteprofil erstellen

Dies geschieht mit Bürstensonnen und dem Leitfähigkeitsverfahren. Hierzu werden für eine Bewertung ausreichend viele Löcher gebohrt und die Bürstensonnen fortschreitend eingeschoben. Dadurch kann man die Feuchteverteilung in der Tiefe erkennen und durch Farbabstufungen in einer Tabelle oder einem Diagramm optisch aufbereiten. Diese Messung kann zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt werden, um eine zeitliche Tendenz erkennen zu können. Die Löcher müssen zwischen den Messzeitpunkten immer dicht verschlossen werden.

### 3.4 Beurteilung von Schimmelbefall

Die Beurteilung von Schimmelschäden gehört zu den komplexesten feuchtetechnischen Aufgabestellungen. Absolute Sorgfalt in der Systematik, gewissenhafte Protokollierung und viel Erfahrung sind hier Voraussetzungen für gesicherte Berichte.

Im folgenden soll sich die Betrachtung auf die bauphysikalischen Aspekte begrenzen. Die gesundheitsgefährdende Seite von Schimmelbefall lässt sich nur interdisziplinär beurteilen, d.h. in Zusammenarbeit mit einem Baubiologen und einem Arzt. Die Fälle, in denen dies nötig ist, sind jedoch eher selten.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Für eine erste Abschätzung, ob die Sporenanzahl im Raum gefährdend wirkt, gibt es ein Petrischalen-Testset, das 1 Stunde offen aufgestellt wird. Die Anzahl der sich bildenden Schimmelflecken wird später ausgezählt und kann auch näher nach Arten analysiert werden.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

### 3.4.1 Vorgehen bei einer Besichtigung

An dieser Stelle sei noch einmal auf die Erläuterungen in Kap. 2.3 verwiesen. Beobachtung und Befragung sind unschätzbare Quellen der Information, ohne die keine seriösen Beurteilungen möglich sind. Ergänzend zur Messung ist z.B. wichtig: Belegungsdichte der Wohnung, Lebensgewohnheiten der Bewohner, Anzahl der Zimmerpflanzen, Wetterphasen, Himmelsrichtung der Wohnung, bauliche Wärmebrücken, zeitlicher Zusammenhang mit baulichen Maßnahmen oder Zwischenfällen. Gute Protokollvordrucke sind unbedingt zu empfehlen. Sie verhindern, dass man wesentliche Dinge vergisst. Wer sie nicht selbst erstellen möchte, kann sie fertig beziehen (Bezugsquelle beim Autor).

Welche Dinge im Detail abgefragt und beobachtet werden sollten, lernen Sie in den TESTO-Baufeuchteseminaren und -Symposien für Sachverständige!



**Zusatzprotokoll Schemed (Interview)**

Datum: \_\_\_\_\_ AD: \_\_\_\_\_ Au: \_\_\_\_\_

Objekt: \_\_\_\_\_ Objektart: \_\_\_\_\_

Ort: \_\_\_\_\_ Nutzung: \_\_\_\_\_ Nutzung: \_\_\_\_\_

Schimmel (analog) festgestellt? \_\_\_\_\_  
 ggf. wie behandelt? \_\_\_\_\_  
 Schimmel (analog) wieder festgestellt? \_\_\_\_\_  
 ggf. wie behandelt? \_\_\_\_\_  
 Schimmel (analog) wieder festgestellt? \_\_\_\_\_  
 ggf. wie behandelt? \_\_\_\_\_

weil: Zu hoch zu  überfliegen  durchdringen  Luftströmung  ...  ...  
 andere Ursache (z.B. Besuch, Krankheit, Arbeitsgerät, Raucher, Baustoffe, Wasserlecks, Wasserlecks)

**Luftzugmessung (Verdacht/Fehlalarm) (Übergangsbereich)**

- Raum: \_\_\_\_\_ (Strömungsrichtung) \_\_\_\_\_  
 Befragung/Überprüfung \_\_\_\_\_

- Raum: \_\_\_\_\_ (Strömungsrichtung) \_\_\_\_\_  
 Befragung/Überprüfung \_\_\_\_\_

- Raum: \_\_\_\_\_ (Strömungsrichtung) \_\_\_\_\_  
 Befragung/Überprüfung \_\_\_\_\_

**Luftzugmessung (Verdacht/Fehlalarm) (Innenbereich)**

- Raum: \_\_\_\_\_ (Strömungsrichtung) \_\_\_\_\_  
 Befragung/Überprüfung \_\_\_\_\_

- Raum: \_\_\_\_\_ (Strömungsrichtung) \_\_\_\_\_  
 Befragung/Überprüfung \_\_\_\_\_

- Raum: \_\_\_\_\_ (Strömungsrichtung) \_\_\_\_\_  
 Befragung/Überprüfung \_\_\_\_\_

Abb. 29a: Auszug Schimmelprotokoll Seite 1

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis



The image shows a form for mold inspection. It contains several sections with input fields and checkboxes:

- Kücheninspektion:**
  - Bedachung Fenstereingangsflucht Küche
  - Bauart/Funktionskontrolle Abzugshaube
- Feuchtheitsfühler durchschneiden wie:**
  - Bedachung Fenstereingangsflucht Bad
  - Bauart/Funktionskontrolle Badewanne
- Wäsche trocknen mit:**
  - Bedachung Wäschekabine
  - Bauart/Funktionskontrolle Trockner
- Bedachung Dichtung/Schalldichtung**
- Wie ist Schimmelquelle? (eingetragene Auswahl):**
- Ursprung überwindlich?**
- Beschwerer ist:**
  - nicht, Staben
  - Meise
  - Holzbohrer
  - Nagelkäfer
  - Kleinfleckerling
  - Kleinfleckerling
  - Kleinfleckerling
  - Kleinfleckerling
  - Kleinfleckerling
  - Kleinfleckerling
- Wie die Beichtigung angekündigt?**  ja  nein  Ja/Nein
- Sind die besten Ergebnisse angestrichen/verfälscht reproduzierbar?**
- Fenster offen vor Beichtigung?**
- Wegfalltemperatur von T<sub>innen</sub> an:** °C
- Ausgleichsfeuchte von Luft innen/wand an:** % P / % S
- Ausgleichsfeuchte von Luft/Wand an:** % P / % S

**Abb. 29b: Auszug Schimmelprotokoll Seite 2**

Eine Erstbesichtigung kann zu jeder Jahreszeit erfolgen. Stellt sich jedoch heraus, dass ein Schimmelschaden nicht auf äußerer Durchfeuchtung (Rohrbruch, Waschmaschinendefekt o.ä.) beruht, sondern auf Kondensation, können Messungen hierzu nur in der kalten Jahreszeit (= Heizperiode) durchgeführt werden.

Im folgenden wird erläutert, wie man die Messtechnik methodisch sauber einsetzt.



## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

### 3.4.2 Kurz- und Langzeitmessung

Es gilt, das Lüftungstechnische Geschehen in der Wohnung möglichst repräsentativ messtechnisch zu erfassen. Das heißt, die Räume in einem Zustand zu messen, der typisch ist für die Lebensgewohnheit der Bewohner. Das heißt auch durch die Anwesenheit der messenden Person nicht wesentlich in den Feuchtehaushalt einzugreifen.

*Daher ist zu beachten:*

- Besuche sind idealerweise unangemeldet
- Falls Sie angemeldet besuchen müssen: beobachten Sie, ob extra für Ihren Besuch gelüftet wurde
- Schließen Sie die Eingangstür sofort hinter sich
- Messen Sie unverzüglich, bevor sich die Luftfeuchte durch Ihre Anwesenheit erhöht. Bedenken Sie aber die Anlaufzeit der Sonden.

Grundsätzlich sollte bei jedem Besuch gemessen werden, um sich einen Eindruck über die momentane Situation zu verschaffen. Wirklich aussagekräftig - vor allem bei rechtlichen Auseinandersetzungen - sind aber erst Langzeitmessungen, die mindestens zwei Wochen besser 3 Wochen andauern. Dabei sind untypische Lebenssituationen zu meiden, wie z.B. Weihnachten, Ferien, Gästeperioden.

Geht es nur um die Beurteilung von Lüftungsverhalten und durchschnittlicher Luftfeuchte, kann die Messung im schimmelträchtigen Monat November erfolgen. Will man gleichzeitig die Erfassung von Wärmebrücken bewerkstelligen, muss die Messung in einem Zeitraum sein, in dem über mehrere Tage hinweg Frost herrscht. Die Planung dafür ist naturgemäß wetterabhängig.

### 3.4.3 Messort

Bei Messung mit Handgeräten bereitet es keine großen Umstände, in mehreren Räumen zu messen. Deutliche Temperatur- und Feuchteunterschiede gibt es zwischen Bad, Küche, Wohn- und Schlafraum durchaus, und diese Unterschiede sind auch aussagekräftig.

Langzeitaufzeichnungen führt man nur im schimmelbefallenen Raum durch, weil der normale Anwender nicht unbeschränkt viele Datenlogger zur Verfügung hat. In den meisten Fällen ist das Schlafzimmer der kritische Raum. Hier sollten immer 1 oder 2 Logger angebracht werden.



## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Will ich feststellen, ob in einer Ecke oder am Boden Kondensationsgefahr besteht, muss genau an diesen Punkten gemessen werden.

Bei Schimmelbefall ist die Positionierung der Sonde im Raum eindeutig, da dieser rein optisch Kondensation markiert. Eine etwaige Durchfeuchtung von aussen gilt es dabei auszuschließen.

Eine weitere interessante Frage ist, ob die Bewohner sich an Vorgaben oder Durchschnittswerte für Luftfeuchte halten. Richtwerte für Luftfeuchte und Lufttemperatur gelten immer bezogen auf die Raummitte in ca. 1,40m Höhe. Hergeleitet ist dies aus den in Kap. 1.1.2 angesprochenen Behaglichkeitsnormen. Um "Ist" mit "Soll" vergleichen zu können, muss daher auch in Raummitte gemessen werden. Das gilt gleichermaßen für Einmal- wie für Dauermessungen.

Als "Raummitte" können dabei alle Orte gelten, die weiter als 50 cm von der Wand entfernt sind. Schlecht durchspülte Nischen oder ähnliche Anbringungsorte sollten nicht berücksichtigt werden.

### **Für die Positionierung der Luft-Sonden sind folgende Randbedingungen zu beachten:**

- Die Befestigung an oder gar in Schränken verzögert, wegen der Temperaturträgheit des Möbelstücks und der eingeschränkten Luftumspülung, die Erfassung von Messwerten. Für die Bildung von Durchschnittswerten sind die so erhaltenen Messwerte jedoch durchaus verwendbar. Temperatur- und Feuchtespitzen sowie Lüftungsphasen werden aber nicht erkannt.
- Wärme- oder Feuchtequellen in der Nähe verfälschen das Ergebnis. Eine Anbringung an Lampen, in der Nähe von Computern, Heizkörpern, Hundekörben, Aquarien o.ä. sollte nicht erfolgen.
- Es darf zu keiner Tageszeit Sonneneinstrahlung auf den Sensor fallen.
- Dient die Messung diagnostischen Zwecken, sollte das Gerät möglichst unauffällig angebracht werden. Dient die Messung prägenden/erziehenden Zwecken, kann der Sensor sichtbar bleiben.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

### *3.4.4 Empfohlene Programmierung für Logger bei Raumklimaaufzeichnung*

Messgeräte für Langzeitaufzeichnung nennt man auch Datenlogger. Diese können entsprechend Ihren Anforderungen programmiert werden, u.a. in Bezug auf Messgrenzen, Taktung, Anzahl der Messwerte, Beginn und Ende der Messung.

In den TESTO-2-Tages-Seminaren wird die Programmierung, vor allem aber die Auswertung, eingehend demonstriert.

Der Beginn der Messung sollte mit der Anbringung des Geräts einhergehen. Da Bewohner sich erfahrungsgemäß in den ersten beiden Tagen vermehrt Mühe mit dem Lüften geben und danach in alte Gewohnheiten zurückfallen, kann man den Messbeginn auch 2 oder 3 Tage später wählen.

Ende der Messung sollte bei Abholung des Geräts sein. Um eine Verfälschung der Durchschnittswerte, die mit der Software ermittelt werden können, zu vermeiden, muss sichergestellt sein, dass nach dem eigentlichen Messzeitraum keine wohnungsfremde Daten (z.B. auf einer längeren Rückfahrt oder im Büro) aufgenommen werden. Ein offenes Messende hat den Vorteil, dass man das Gerät noch länger hängen lassen kann, z.B. um eine Frostperiode abzuwarten.

Die Taktung richtet sich nach der Aufgabenstellung. Interessiert nur die in der Wohnung herrschende durchschnittliche Luftfeuchte, genügt im Prinzip eine stündliche Messung.

Will man Lüftungsphasen erfassen (Zeiten geöffneter Fenster), empfiehlt sich eine ca. 2minütige Taktrate.

Geht es nur um die Erfassung der Fensteröffnungsphasen, kann man den Luftsensor auch unmittelbar am Fenster anbringen. Die Messwertunterschiede sind dann abrupter und größer.

Die Messwertgrenzen stellt man so ein, wie es die Wohnbedingungen nahe legen, z.B. im Temperaturbereich von 0 bis 30°C oder im Feuchtebereich 20 bis 85% r.F.

Die Messfühlerauswahl richtet sich ebenfalls nach der Fragestellung. Will man Wärmebrücken beurteilen, oder die Betriebszeiten des Heizkörpers, bringt man Fühler für die Oberflächentemperatur in der kältesten Ecke bzw. am Heizkörper an.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis



**Abb. 30: Befestigung eines Plättchenfühlers**

### 3.4.5 Abgrenzung der Ursachen

Die Interpretation der Messaufzeichnungen erfordert Erfahrung und analytisches Denken.

#### Im einzelnen sind folgende Fragen zu beantworten:

- Bei überhöhter Luftfeuchte: wo kommt sie her? Durch die Bewohner (Anwesenheit, Duschen, Wäschetrocknen usw), durch Zimmerpflanzen etc.?
- Warum reichert sich die Feuchte an? Wird zu selten gelüftet? Nur in Kippstellung? Ohne Durchzug? Erschwert der Lebensrythmus Lüftungsphasen?
- Warum kommt es zur Kondensation? Sind die Wände so kühl, wie es bei intakter Bausubstanz zu erwarten ist oder wesentlich kälter? Käme es auch bei gut gedämmter Bausubstanz zur Kondensation, weil die Luftfeuchte extrem hoch ist?

Der letzte Frageblock ist rechtlich äußerst bedeutsam, und zwar für die Mängelbeseitigung, die Mietminderung, die Übernahme von Prozesskosten, das Kündigungsrecht usw. Im nächsten Kapitel wird ausführlicher auf die Wärmebrückenproblematik eingegangen.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

### Die Kernfrage:

Kommt es

1. bei gewissenhafter Belüftung und Beheizung (so wie es für Wohnbetrieb angemessen und zumutbar ist) und
2. bei üblichem Winterwetter (so wie es für diese Region typisch ist) unweigerlich zu mehrtägiger oder länger andauernder Abkühlung des Bauteils, und zwar der Art, dass sich die Temperatur der Bauteiloberfläche der Taupunkttemperatur auf weniger als 3 K nähert?

### Zur Beurteilung dieser Frage ist eine weit reichende messtechnische Erfassung notwendig von

- der Häufigkeit und Dauer der Lüftungsphasen (bzw. Funktionstüchtigkeit einer Lüftungsanlage)
- der Art der Fensterlüftung (Kipp oder Schwenk, Durchzug oder Einzellüftung)
- Durchschnitts-Luftfeuchte und -Lufttemperatur in Raummitte
- Betriebszeiten und Betriebstemperatur von Heizkörper(n)
- dem Einfluss von Möbeln auf die zusätzliche Abkühlung dahinter befindlicher Wandflächen
- der Oberflächentemperatur (innen) der kritischen Bauteilzonen
- der Lufttemperatur außen
- der Oberflächentemperatur (außen) der kritischen Bauteilzonen - (nur an Ost-, West oder Südseite, da dort durch Sonneneinstrahlung eine über die Lufttemperatur hinausgehende Erwärmung stattfinden kann).

Mit einem *einzigem* Datenlogger kann diese Messaufgabe nicht bewältigt werden. Eingesetzt werden daher zwei bis drei Logger. Selbstverständlich müssen diese zuvor synchronisiert und auch von ihrer Justierung her aufeinander abgestimmt sein. Eine Zusammenführung der Messkurven in der Software ist möglich.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

### 3.5 Beurteilung von Wärmebrücken

#### 3.5.1 Fragestellung und Bedeutung

Die Standardfrage bei Schimmelbefall lautet kurzgefasst: Wer ist schuld?  
Ist es der Bewohner mit seinem Lüftungsverhalten?  
Oder ist es der Vermieter/Verkäufer mit seiner mangelhaften Bausubstanz?

Zur Beantwortung dieser Fragen gilt es Wärmebrücken zu erfassen und zu beurteilen.

#### 3.5.2 Arten von Wärmebrücken

Unter Wärmebrücken versteht man Stellen der Bausubstanz, die unter winterlichen Bedingungen besonders kalt werden. Jede Wand, jeder Boden hat Bereiche, die kälter sind als der Rest der Fläche. Dies sind in der Regel Rand- und Eckbereiche.

Hier findet eine bessere Wärmeableitung von innen nach außen statt mit 2 Resultaten:

- Die Temperatur an der Außenseite des Bauteils steigt, Wärme wird vermehrt in die Umwelt abgestrahlt und Energieverluste erhöhen die Heizkosten.
- Die Temperatur an der Innenseite des Bauteils sinkt, die kalte Oberfläche neigt zu Schimmelbildung und Kondensation und die Behaglichkeit ist vermindert.

*Man unterscheidet verschiedene Arten von Wärmebrücken:*

- maßbedingte Wärmebrücken: dies sind Stellen, an denen das Bauteil dünner dimensioniert ist, z.B. Heizkörpernischen, Rollladenkästen mit nur dünnen Abdeckplatten.
- materialbedingte Wärmebrücken: dies sind Stellen, an denen ein ungünstiger (sehr gut wärmeableitender) Baustoff eingesetzt wurde, z.B. Stahlträger, Betonstützen, Ziegel-Ausmauerungen ehemaliger Fensteröffnungen, mit Beton vergossene Mauerwerkslücken.<sup>16</sup>
- geometriebedingte Wärmebrücken: dies sind Stellen, die im weitesten Sinne eine Kühlrippenform haben, d.h. sie weisen mehr Außenoberfläche als Innenoberfläche auf. Wo dies der Fall ist, überwiegt die Wärmeabstrahlung nach außen die Wärmeaufnahme aus dem Raum, z.B. an Kragplatten, Attiken, Fensterstürzen und -laibungen, Dachüberständen. Im Prinzip ist jede Hausecke eine geometrische Wärmebrücke!

<sup>16</sup> Im strengen Sinn zählen hierzu sogar alle Mauerwerksfugen, wie die Thermografie auch zeigt. Für die Praxis ist das jedoch ohne Belang.

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Geometrie- und materialbedingte Wärmebrücken treten meist kombiniert auf. Wo Teile auskragen, sind sie in der Regel aus Stahl oder Stahlbeton gefertigt!

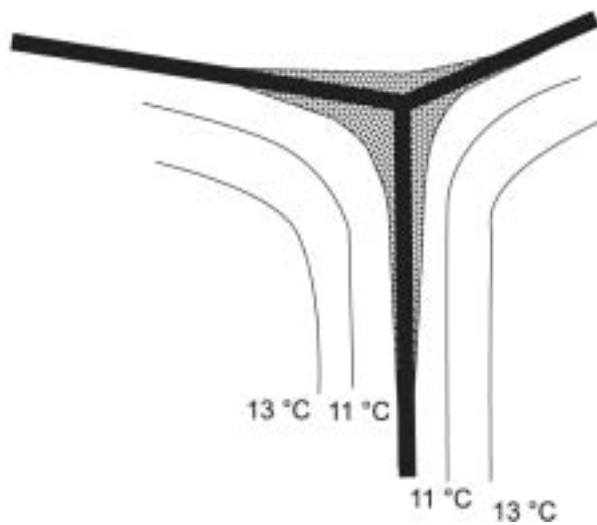


Abb. 31: geometrische Wärmebrücke mit Schimmelbefall

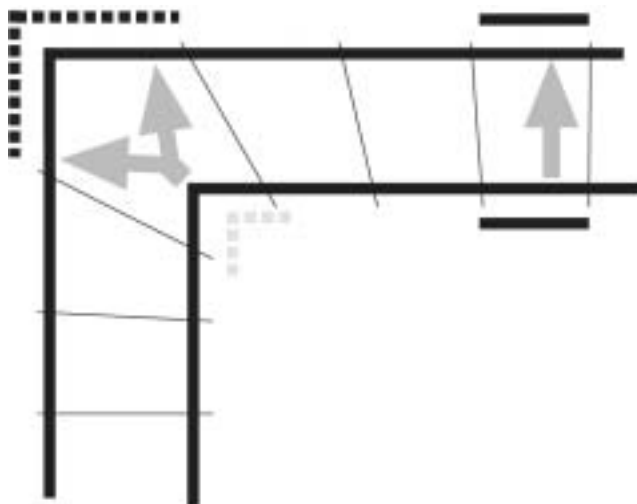


Abb. 32: geometrische Wärmebrücke 2-dimensional (Prinzip)

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

In der Praxis sind die kritischen Wärmebrücken:

- Balkon-Kragplatten (vor allem, wenn sie thermisch nicht getrennt sind)
- auskragende Decken aus Beton
- Tiefgaragendecken nur mit Estrichdämmung, aber ohne garagenseitige Dämmschicht (siehe Abb.33)
- Betonständerbauweise mit ausgemauerten Gefachen.

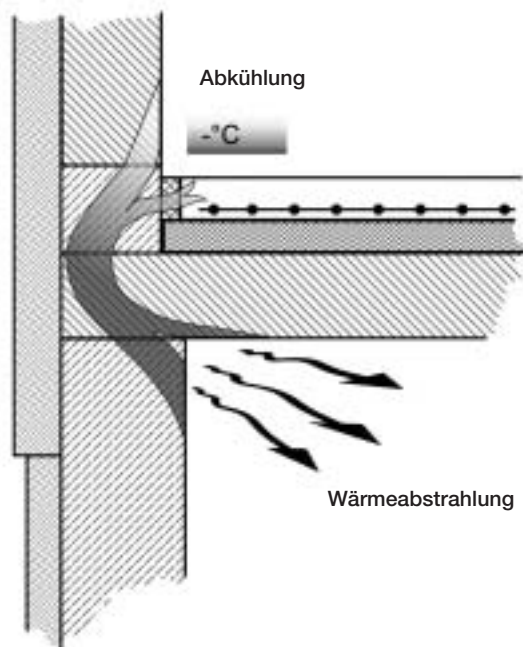


Abb. 33: Tiefgaragendecke mit Wärmefluss



## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

### 3.5.3 Erfassung von Wärmebrücken

Wie lassen sich Wärmebrücken quantifizieren?

#### Drei Wege sind denkbar:

1. Sofern eine "Standard"-Wärmebrücke vorliegt, greift man auf Werte zurück, die in einem Wärmebrückenatlas schon einmal berechnet wurden. Für den Holzbau und den Kalksandsteinbau gibt es eine Vielzahl von berechneten Standardlösungen. Diese sind in der Praxis nicht mehr kritisch, weil schon optimiert. Altbautsituationen folgen solchen Standardisierungen in der Regel nicht oder nur selten. Zudem ist es schwierig eine Altbautsituation überhaupt zu erfassen (Querschnitte, Rohdichten, Lambda-Werte), bzw. zu erkennen, ob sie einer Standardsituation entspricht.
2. Man erfasst den kritischen Bauteilquerschnitt und ermittelt die verbauten Materialien. Mit den ermittelten Erkenntnissen gestaltet man ein CAD-Modell, mit dem sich die Abkühlung rechnerisch ermitteln lässt. Die Schwierigkeit hierbei ist, nicht nur 2-dimensional sondern mit erhöhtem Aufwand 3-dimensional zu rechnen. Wärmebrückenprogramme, die dies können, gibt es zwar, aber die Ermittlung und CAD-Umsetzung erfordern einen mehrstündigen Aufwand.  
Geklärt werden muss dabei die Frage, welche Ungenauigkeiten sich ergeben. Denn die Simulationsrechnung beginnt mit Materialdaten, die ebenfalls mit Toleranzen behaftet sind und nicht unbedingt dem Material entsprechen, wie es tatsächlich verbaut wurde (die Werkstoffkontrolle und Produktgüte bei Altbauten ist nicht mit der heutigen Situation zu vergleichen!).

Zerstörende  
Untersuchung

Rechnerische  
Simulation

Ferner muss darauf geachtet werden, die richtigen Innen- und Außenlufttemperaturen in die Rechnung einzusetzen.

Soll man für die Außentemperatur Normwerte annehmen?

Oder realistische Werte der jeweiligen Region?

Welche Innentemperatur soll man einsetzen?

Diejenige, die mit DIN 4108 operiert oder die tatsächliche, die von Möbelstellung, Heizkörperanordnung, Vorlauftemperatur, Bodenbelag usw. abhängt?

Zuletzt stellt sich die Frage: kommt eine stationäre Rechnung der Praxis genügend nahe oder muss man gar instationär, d.h. mit Tag-/Nachtschwankungen, rechnen?

## Typische Anwendungsfälle der Baupraxis

Aufgrund der Komplexität der Fragestellungen tendiert der Autor zu folgender Lösung:

3. Die Messung am "lebenden Objekt". Dabei werden die Oberflächentemperaturen erfasst, wie sie sich in einer "typisch" winterlichen Witterung einstellen.

*Der große Vorteil:* Vermessen und Analysieren der Bauteile entfällt. Die Ermittlung der Querschnitte und Baustoffe ist nämlich in der Regel zerstörend (Kernbohrungen, Steinentnahme)! Man umgeht ferner die Diskrepanz, die sich zwischen Normsituation und regionaler/lokaler tatsächlicher Klimasituation einstellt. Was hilft es, wenn nach Normbedingungen kein Kondensat anfele, dies in der Praxis aber dennoch geschieht?

Messung unter  
idealen  
Bedingungen

**Der große Nachteil:**

Man ist darauf angewiesen, einen passenden Messzeitraum zu finden, bei dem  
a) eine typische Wohnsituation herrscht, und  
b) typisches Winterwetter.

Inwieweit sich eine Messung, die bei wärmeren Wetter durchgeführt wurde, auf kälteres Wetter herunterrechnen lässt, wäre ein interessantes Thema für eine Studien- oder Diplomarbeit!

Die - wie auch immer - quantitativ beschriebene Wärmebrücke zu beurteilen, ist nochmals ein eigenes Themengebiet. Gerade für den Altbau bietet die Normung hier nur unzureichende Mittel zur Bewertung. Erst in neuerer Zeit werden Wärmebrücken in der DIN 4108 überhaupt beschrieben. Der Stand der Norm deckt sich nicht immer mit der gängigen Praxis, die bei der Recherche der jeweils gültigen "Allgemein anerkannten Regeln der Technik" ja erheblich ist. Die Bewertung von Wärmebrücken ist also eine typische Sachverständigen-Tätigkeit und sprengt den Rahmen dieses Ratgebers. Ob man letztendlich Simulation oder Messung bevorzugt, muss man sich immer über die Ungenauigkeiten im Klaren sein. Es ist nicht zu verantworten, Ursache und Schuld anhand von Nachkommastellen oder einem halben Grad Celsius festzuschreiben, wenn die zu Grunde liegenden Annahmen bzw. Randbedingungen nur "in etwa" beschrieben werden konnten. In der Praxis entscheidet sich leider der Wärmebrückenstreit immer an nur wenigen Grad Celsius!

Diese Erkenntnis spricht nun nicht dagegen zu rechnen und zu messen. Wenn Baufachleute nicht messen, bleibt die Unwissenheit noch größer und niemand ist geholfen. Das Gespür für unsere Grenzen sollte uns dazu bringen, alle Untersuchungen und Messungen mit geeignetem Gerät und der gebotenen Sorgfalt durchzuführen!

Autor:  
Martin Giebeler