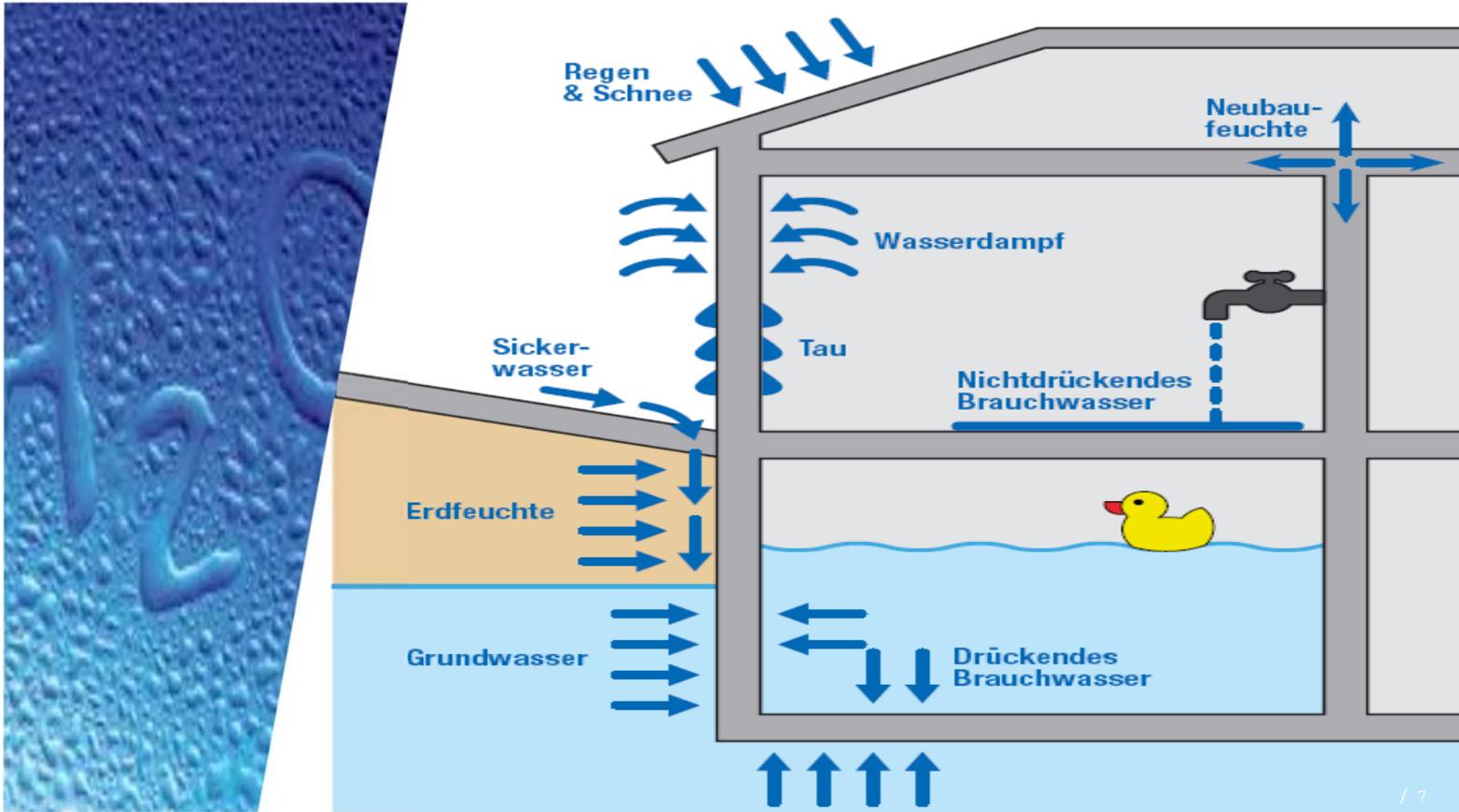




Messtechnik und Schadensdiagnostik im Dachdecker- Handwerk

14. IFB-Symposium

- ▶ Michael Zimmermann
- ▶ Dachdeckermeister und Geschäftsführer
Zimmermann Bedachungen GmbH
- ▶ öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für
das Dachdeckerhandwerk
- ▶ nach DIN EN ISO/IEC 17024 zertifizierter Sachverständiger
für die Teilgebiete:
 - *Feuchte- und Schimmelpilzschäden*
 - *Bauwerksabdichtung (BWAB)*
 - *Dachabdichtung, Dachbegrünung (DD)*
 - *Dachdecker- und Spenglerhandwerk (DS)*
- ▶ Vizepräsident des Deutschen Dachdeckerhandwerk



Feuchtigkeit in Dachkonstruktionen

Wasser kann auf verschiedenen Wegen an und in Dachkonstruktionen und Baustoffe gelangen. z.B. durch:

- Bauphase (Neubaufeuchte)
- Einbau feuchter Baumaterialien (Mörtel, Holz etc.)
- Kondensatfeuchte
- Feuchtekonvektion
- Unzureichendes Heizen und Lüften
- Havarie (Undichtheiten)
- Salze usw.



Feuchtigkeit in Baustoffen

Überhöhte Baufeuchte

Jeder Baustoff steht in einem für ihn charakteristischen Gleichgewicht mit der Luftfeuchtigkeit.

Ist dieses Gleichgewicht gestört, spricht man von „überhöhter“ Baufeuchte.

Q ๓๓leip\$๓ q ivq err\$



Fachregel des deutschen Dachdeckerhandwerk

Merkblatt Wärmeschutz:

Als besonders schadensträchtig haben sich:

Flachdächer in Holzbauweise mit Wärmedämmung zwischen den Sparren/Balken und ohne Hinterlüftung der Abdichtungsunterlage

Dächer mit Metaldeckungen mit Wärmedämmungen zwischen den Sparren/Balken und ohne Hinterlüftung der Deckunterlagen, erwiesen.

Q ๓๓leip\$๓ q ivq err\$



Tierschutz aus der Praxis



Tierschutz aus der Praxis



Diffusionsfähig - Fehlertolerant?



© 2015 Siga Sika AG

Luftdichtheit?



© 2015 Siga Sika AG

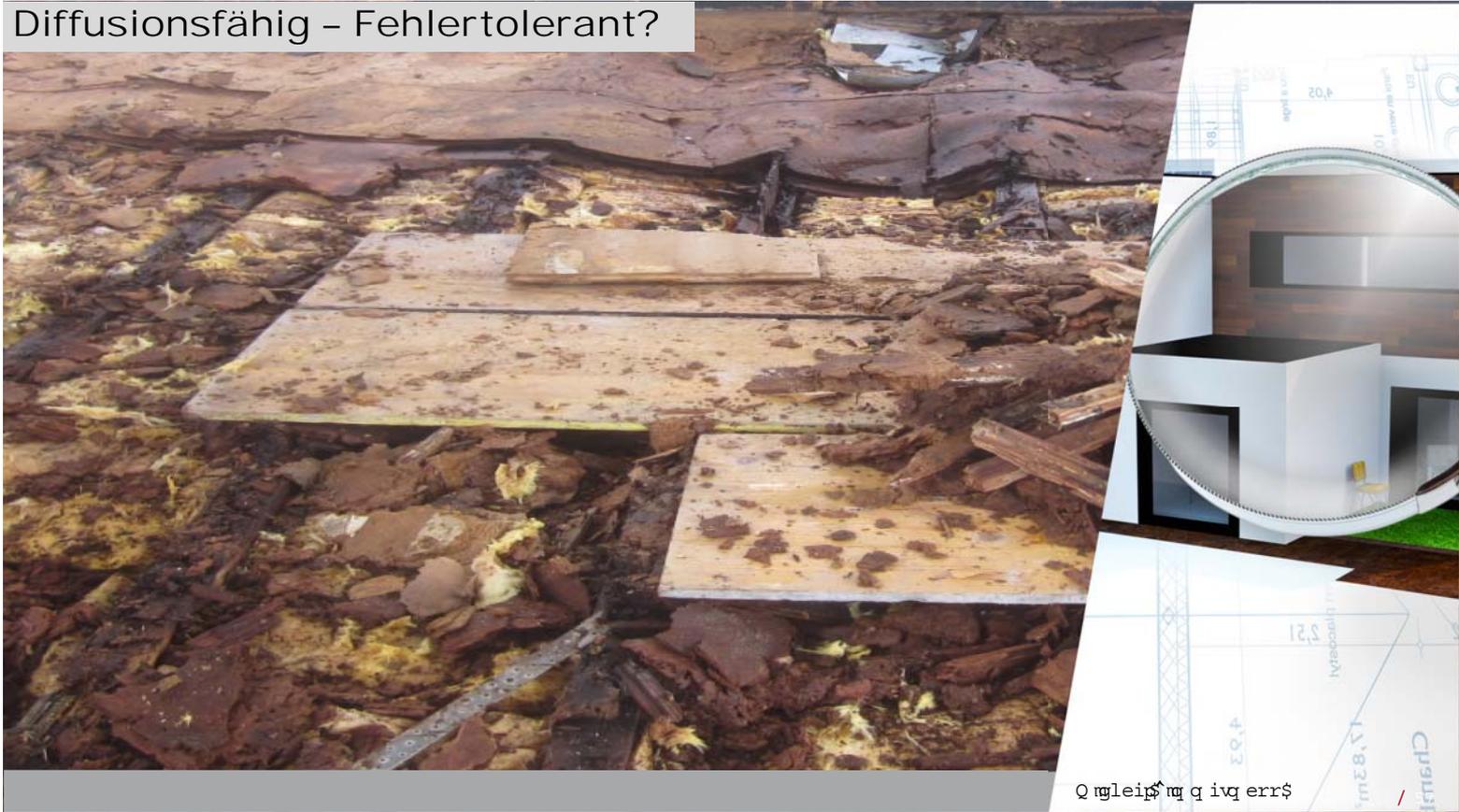
Nebel des Grauens



Diffusionsfähig - Fehlertolerant?



Diffusionsfähig - Fehlertolerant?



Q rgleip\$ ru q ivq err\$

Diffusionsfähig - Fehlertolerant?



Q rgleip\$ ru q ivq err\$

Diffusionsfähig - Fehlertolerant?



Q rgleip\$'ny q ivq err\$

Diffusionsfähig - Fehlertolerant?

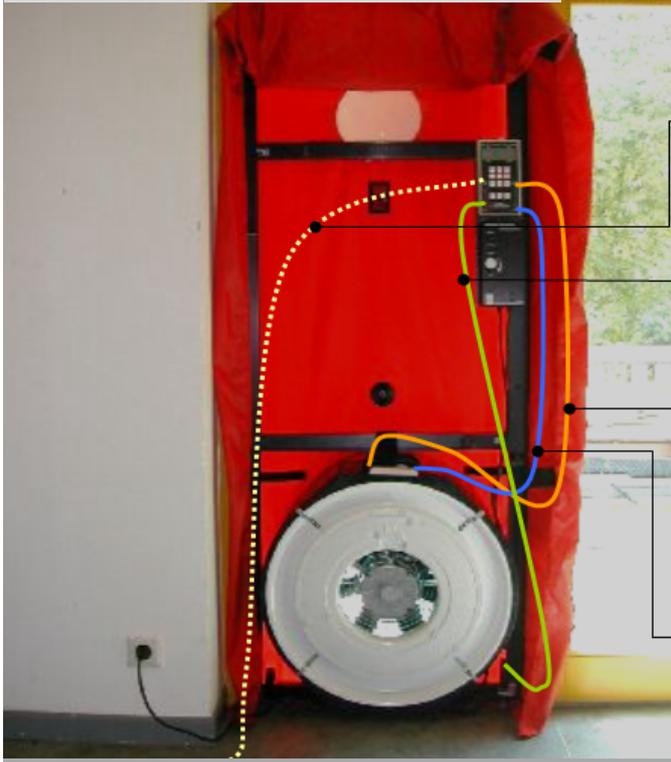


Schadensursache:
Nicht Luftdicht!

Q rgleip\$'ny q ivq err\$

Luftdichtheit Blower - Door

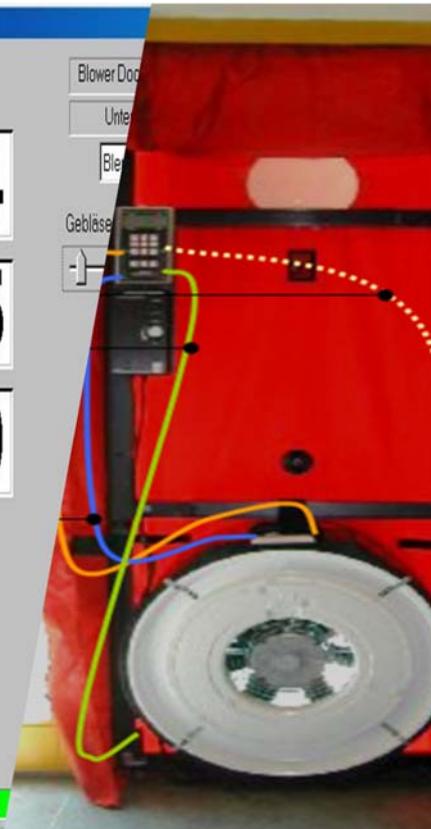
Messung und Leckagekurve (automatische Messung)



n50 **1.34**

Volumenstrom (m³/h) **405**

Gebäudedruck (Pa) **-50.0**



Gerätedaten Zustand **Komplett Gebläse 50.0 Pa Zieh-Druckwert**

Q ngleip\$ nq q ivq err\$

57

Luftfeuchtigkeit

Feuchteschutz ist abhängig vom Wärmeschutz

Niedrige Oberflächentemperaturen

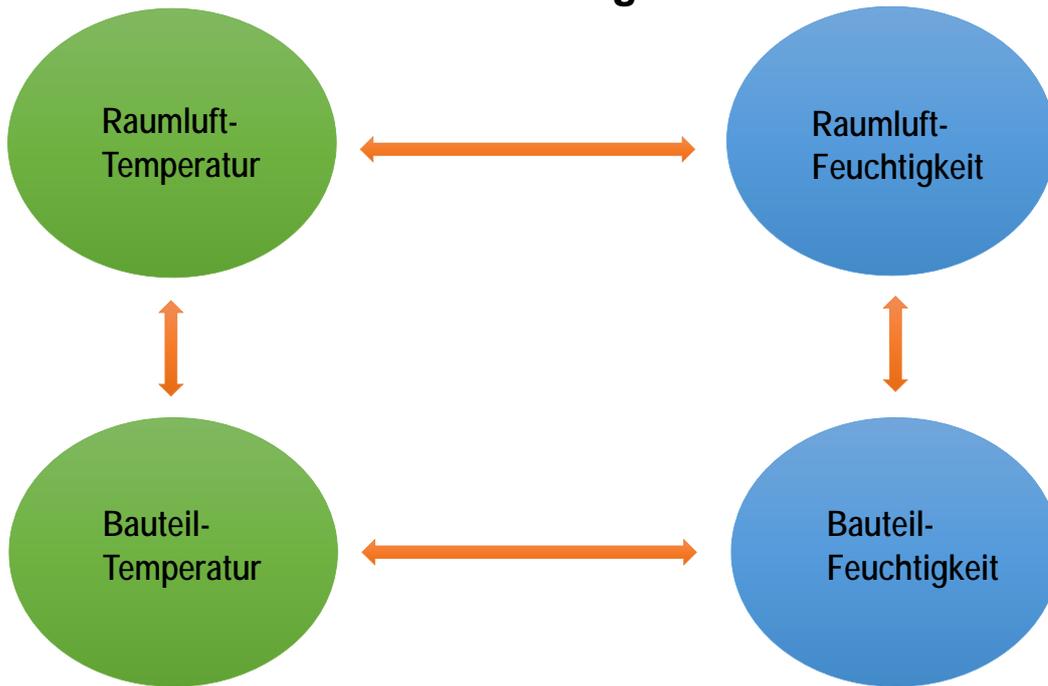
=

Hohe Oberflächenfeuchten



Q ngleip\$ nq q ivq err\$

Bauteilfeuchtigkeit



Die Luft besteht aus:

- 21% Sauerstoff
- 78% Stickstoff
- 1% Argon, Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf

Wasserdampf ist gasförmiges (nicht sichtbares) Wasser

Die Rohdichte von Luft beträgt ca. $1,2 \text{ kg/m}^3$

Luffeuchte ist der Anteil des Wasserdampf am Gasgemisch der Erdatmosphäre (außen) oder innerhalb Räumen (innen) bei einer bestimmten Temperatur.



Messung der Luftfeuchtigkeit:

Zur Messung der Luftfeuchtigkeit innerhalb der Gebäude werden entweder stationäre oder instationäre Messmethoden durchgeführt. Zu den stationären Messungen gehört die Messung mittels Hygrometer.



Bei der instationären Messung werden oft Datenlogger zur Langzeituntersuchung verwendet.

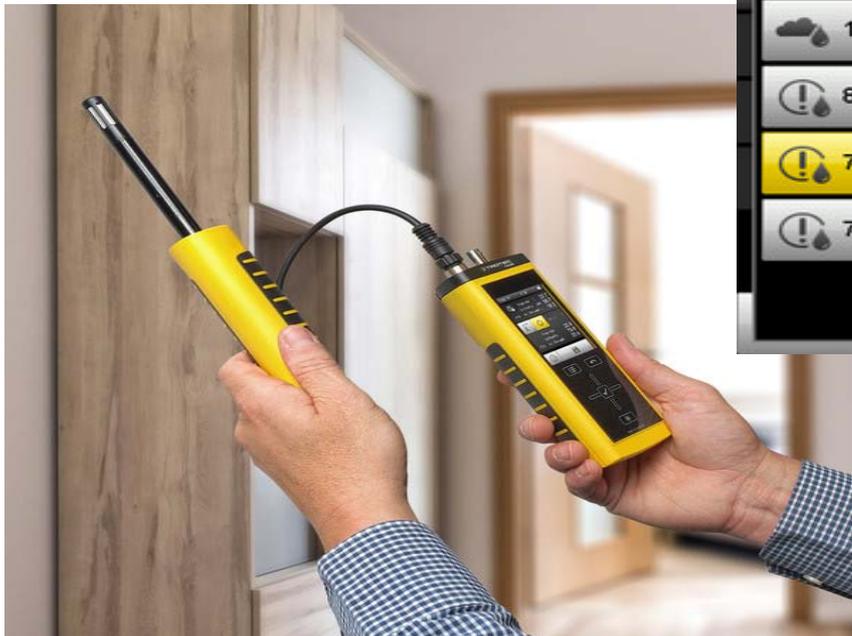
© Ingenieurbüro q i v err

Luftfeuchtigkeit und Temperatur / stationär



© Ingenieurbüro q i v err

Luftfeuchtigkeit und Temperatur / stationär



Quelle: [http://www.ergo.de](#)

/ 57

Luftfeuchtigkeit und Temperatur stationär

Praxistipp!

Die Messgeräte müssen unbedingt vor der Messung an die neue Umgebungstemperatur angepasst werden.

Gerade bei sehr hohen Temperaturunterschieden, hauptsächlich in den Wintermonaten, ist dieses Anpassen sehr wichtig.

Durch ein andauerndes schnelles Bewegen (schütteln) der Messgeräte, wird der Akklimatisierungsprozess beschleunigt.



Luftfeuchtigkeit und Temperatur / instationär



Schriftliches Einverständnis des Nutzers der Räume erforderlich!

Luftfeuchtigkeit und Temperatur / instationär

- Zustimmung der Bewohner einholen
- Zur Auswertung wird eine Software benötigt
- Datenabfrage bei einigen Systemen auch über Mobilfunk

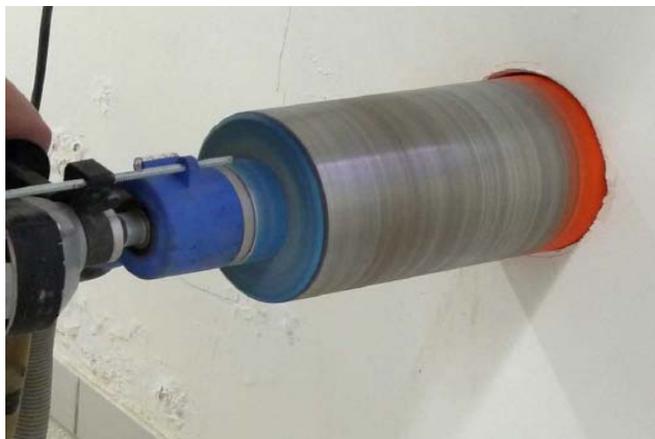
Kapazität	Aktive Sensoren	Intervall Minuten	Messdauer in Tagen
64.000	Luftfeuchte und Temperatur	1	22
64.000	Luftfeuchte und Temperatur	2	44
64.000	Luftfeuchte und Temperatur	3	67
64.000	Luftfeuchte und Temperatur	5	111
64.000	Luftfeuchte und Temperatur	15	333

Baustofffeuchtemessungen



Aufgabe	Wie	Methode
Messung der Baustofffeuchte	zerstörend	Darmmethode CM Methode Bohrlochmessung
	zerstörungsfrei	Elektrische Widerstandmessung Dielektrizitätsverfahren Mikrowellenverfahren

Darmmethode = Gravimetrische Feuchtemessung





Darmmethode

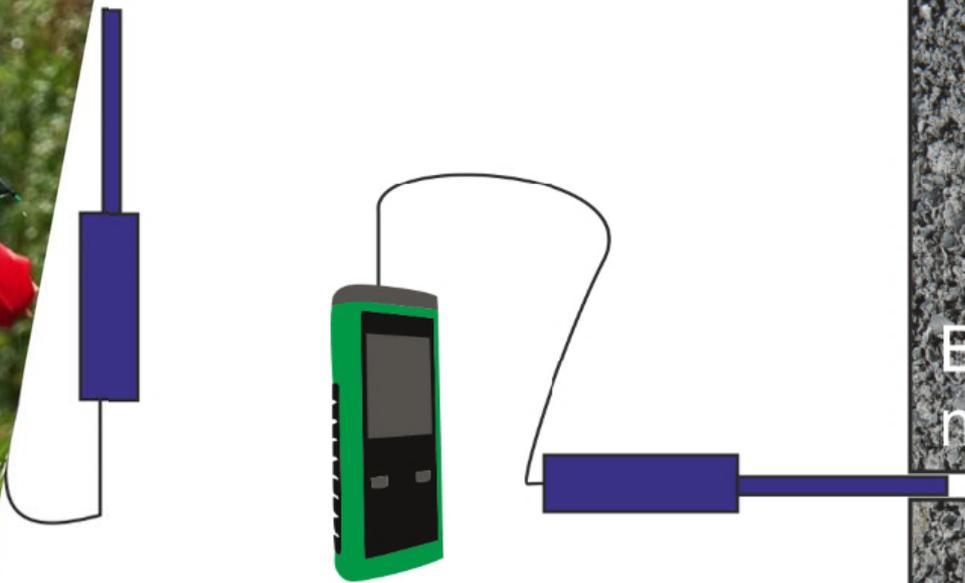
Fazit:

Es handelt sich dabei eine zerstörende und sehr aufwändige punktuelle Messung.

Wird in der Regel im Labor durchgeführt.

Dieses Prüfverfahren ist anerkannt, gerichtsfest und liefert die genauesten Ergebnisse

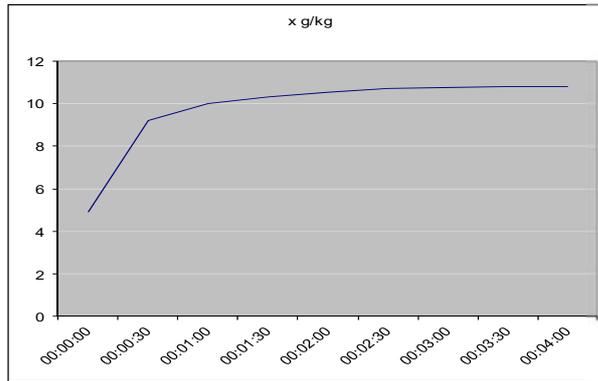
Hohlraummessverfahren



Bau-
material

Bauteil

Praxis Bohrlochmessung



Beharrungszeit im Bohrloch:

Nach 30 Sekunden: 85,3 % des Endwertes

Nach 60 Sekunden: 92,6 % des Endwertes

Nach ca. 3,5 Minuten: Endwert, (näherung)



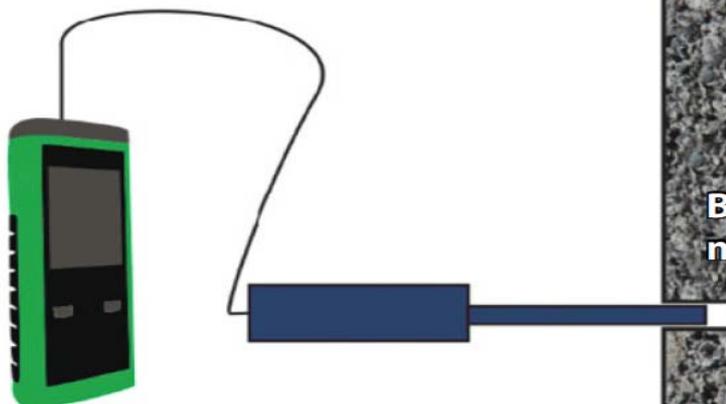
Messergebnisse



76 % r.F bei 18 ° C

Raum

Bauteil



**Bau-
material**

**Absolute Feuchte
11,67 g /m³**

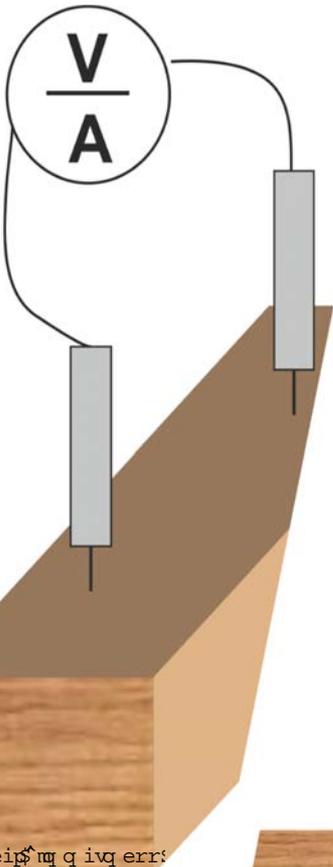
Luuchte



Bohrlochmessung

Fazit:

- Einfache Untersuchung mit recht genauen Ergebnissen.
- Keine Beeinflussung durch Salzbelastungen.
- Schnelle Information über das Feuchteverhalten
- Befeuchtungsquelle kann herausgefunden werden.
- Feststellbar ob die Raumluft das Bauteil befeuchtet oder umgekehrt.
- Überprüfung des Sanierungserfolg (z.B. nach Bautrocknung)



Elektrische Widerstandmessung

Quasi eine zerstörungsfreie Messung

Es wird der elektrische Widerstand des Materials (abhängig von der Feuchte) mittels Elektroden und Messgerät ermittelt und in Gewichtsprozent umgerechnet

Elektrische Widerstandmessung

Auch für Vergleichsmessungen in anderen Materialien geeignet, um zu prüfen, ob unterschiedlich hohe Feuchtwerte an unterschiedlichen Stellen vorliegen.

Folgendes ist zu beachten:

- Abhängig von Materialart und Temperatur (→ Kennlinien!)
- Salzgehalte und OF-Feuchte beeinflussen Ergebnis
- Optimale Messtiefe bei etwa 1/3 der Materialdicke
- Messabstand von Materialenden $\geq 50\text{cm}$
- Bei Hölzern quer zur Faserung messen

Wird vor allem zur Ermittlung von Holzfeuchten eingesetzt



Q ryleip\$ r q ivq err\$

/ 77

Elektrische Widerstandmessung



/ 7<



Holzfeuchte

„Datenlogger“ Holzfeuchte Fichten-/Tannenholz:

Achtung: nur als Anhaltswerte nutzen, da Holzgewichte u.a. i.d.R. nicht bekannt sind;
daher sind größere Abweichungen möglich.

Immer an mind. drei verschiedenen Stellen messen.

Einschlagelektrode mind. 2 cm tief eintreiben, im Längsholz diagonal zur Faser ansetzen.



Natürliche Datenlogger „Holz“ im Haus

relative Luftfeuchte [%]	Lufttemperatur in °C				
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
40 %	7,9 %	7,8 %	7,7 %	7,5 %	7,5 %
50 %	9,4 %	9,3 %	9,2 %	9,0 %	9,0 %
60 %	11,1 %	11,0 %	10,8 %	10,6 %	10,5 %
70 %	13,3 %	13,2 %	13,0 %	12,8 %	12,6 %
80 %	16,2 %	16,3 %	16,0 %	15,8 %	15,6 %
90 %	21,2 %	20,8 %	20,6 %	20,3 %	20,1 %
Holzfeuchte (in Gew.-%)					

Beispiel:

Wird in einem Wohnraum mit einer Raumlufttemperatur von 20 °C der Holzfußboden oder an anderen Holzteilen eine Holzfeuchte von 16 % messtechnisch ermittelt, kann man davon ausgehen, dass die relative Luftfeuchte über einen längeren Zeitraum (ca. 10 Tage) bei ca. 80 % lag, d. h. es wurde nicht richtig oder gar nicht gelüftet.

Holzfeuchte in %	Charakterisierung des Kennwertes
0 %	Darrtrockenes offentrockenes Holz
20 %	Grenzwert für die Bezeichnung „trocken“ nach DIN 4074 & DIN 68365
20-35 %	Fasersättigung bei 100% relativer Luftfeuchte
30-35 %	Grenzwert für die Bezeichnung „halbtrocken“ DIN 4074 & DIN 68365
> 35 %	„Frisches“ Bauholz nach DIN 4074 und DIN 68365
Gleichgewichtsfeuchte in %	Anwendungsbereich / Einbausituation
9 ± 2 %	Allseitig geschlossene Bauwerke mit Heizung
12 ± 3 %	Allseitig geschlossene Bauwerke ohne Heizung
15 ± 3 %	Überdachte offene Bauwerke
18 ± 6 %	Konstruktionen die der Witterung ausgesetzt sind



Holzfeuchte

Holzfeuchte ist abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit

Im Jahresdurchschnitt beträgt die **Holzfeuchte 17 %**

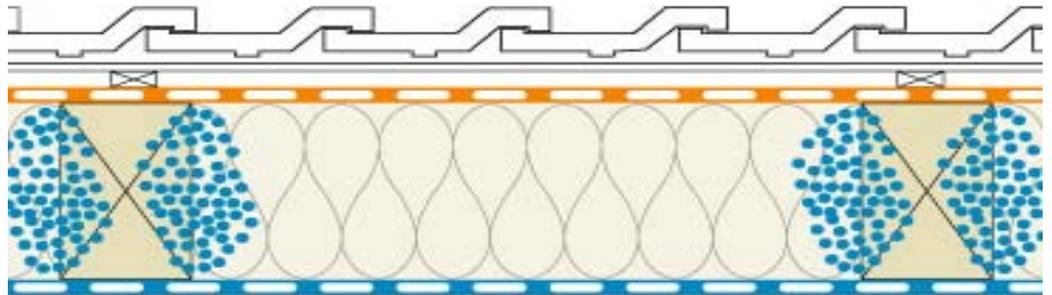
Freilufttrocknung praktisch nur Holzfeuchten von **16 bis 17 % erreichbar**

Holzfeuchteänderungen unterhalb des Fasersättigungsbereiches führt zu Quell- und Schwindbewegungen



Einbaufeuchtigkeit

Vorhandene Holzfeuchte zum Zeitpunkt des Einbaus



Quelle: pro clima



Einbaufeuchtigkeit

Sparren 8/20 - e= 70 cm–Rohdichte ca. 500 kg/m³ ~ 11 kg / m²

Bei Trocknung des Holzes um:	frei gesetztes Wasser:
1 %	0,11 l/m ²
5 %	0,55 l/m²
20 %	2,20 l/m ²



Einbaufeuchtigkeit

Schalung 24 mm – Rohdichte ca. 500 kg/m ³ ~ 12 kg / m ²	
Bei Trocknung des Holzes um:	frei gesetztes Wasser:
1 %	0,12 l/m ²
5 %	0,60 l/m²
20 %	2,40 l/m ²

Sparrenkonstruktion mit Schalung! Bei 20% HF= 4,60 l/m²



Einbaufeuchtigkeit

- ▶ Trockenes Holz einbauen (DIN 68800)
- ▶ Holz vor Feuchtigkeit schützen (DIN 68800)
- ▶ Schriftliche Abnahme durchführen
- ▶ **Holzfeuchte messen und dokumentieren!!!!**
- ▶ Auftraggeber auf mögliche Gefahren hinweisen

Elektrische Widerstandmessung



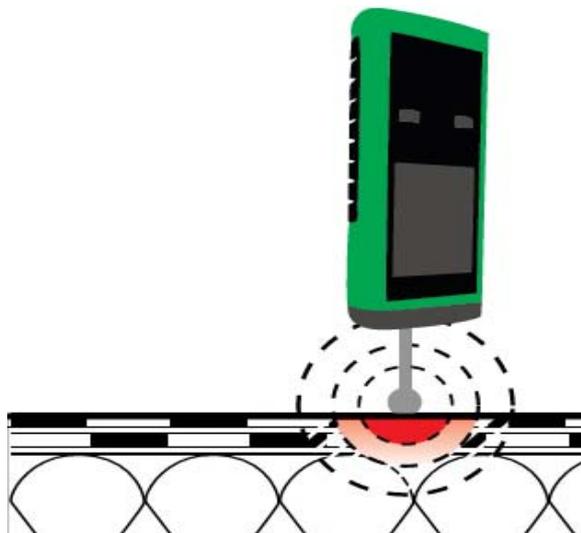
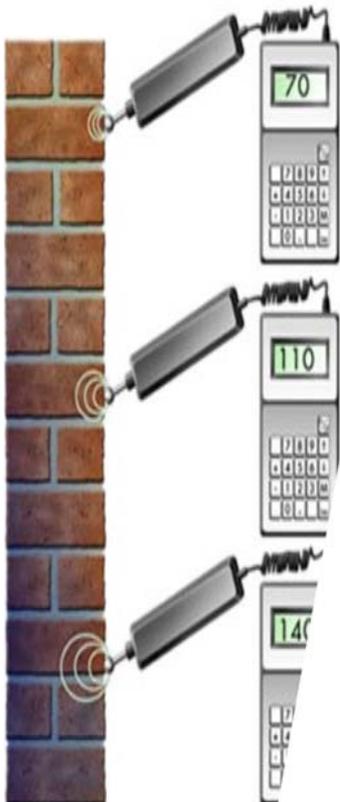
Fazit:

Salzeinlagerungen in Baustoffen und Metalle führen zu falschen Messergebnissen. Bei Flach- und Rundelektroden ist auf eine unbeschädigte Isolierung zu achten.

Die ersten 2 cm sollten jedoch unisoliert bleiben.

Dieses Messverfahren ist sehr einfach durchzuführen und liefert bei der Holzfeuchtemessung genaue Ergebnisse.

Dielektrizitätsverfahren





Dielektrizätverfahren

- Zerstörungsfreie Messung der Dielektrizitätskonstante eines Baustoffes.
- Qualitativer Wert, der vom Material und dessen Feuchtegehalt abhängig ist.
- Orientierende Messmethode zur Lokalisierung von Feuchtigkeitsschäden.
- Wird durch leitfähige Materialien wie Metalle oder Salze stark beeinflusst.
- Es kann nicht durch Luftschichten hindurch gemessen werden.



Dielektrizätverfahren



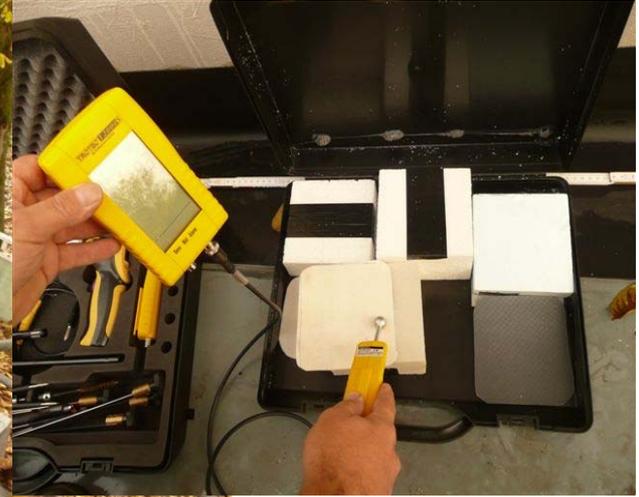
Dielektrizitätsverfahren



Dielektrizitätsverfahren



Dielektrizätverfahren



Q 97leip\$ 74 q ivq err\$



Dielektrizitätsverfahren

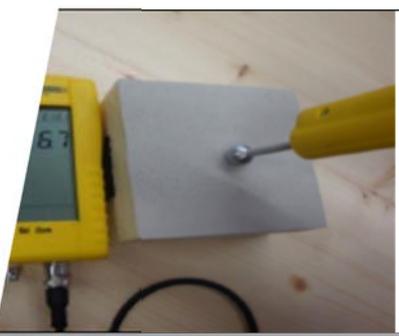


Referenzwerte

XPS



EPS + PVC



Referenzwerte

PU + PVC



+ Vlies



XPS + PVC + Vlies



Referenzwerte

es



EPS + Rhepanol



panol



PU + Rhepanol



Dielektrizitätsverfahren



Hand am unteren Ende anfassen!

Dokumentation



Feuchtemessung im kapazitiven Messverfahren

Anzeige- messbereich	Feuchtigkeitsbeurteilung / Klassifizierung	Zuordnung
< 50 Digits	„trocken“ bzw. „keine Feuchtigkeit“	F0
50-70 Digits	„leicht erhöhte Feuchtigkeit“	F+
70-120 Digits	„erhöhte Feuchtigkeit“	F++
> 120 Digits	„stark erhöhte Feuchtigkeit“ Übergang zu „nass“	F+++

Zuordnung der Feuchtigkeitswerte Spalte Kurz-Bewertung:

F0 = trocken / keine Feuchte F+ = leicht erhöhte Feuchte F++ = erhöhte Feuchte F+++ = stark erhöhte Feuchte / nass



Orte zur Ermittlung der Feuchtigkeit in Bauteilen

Ort und Messwert	Kurz-Bewertung
Wand über Terrassenanschluss Wohnzimmer links (ca. 40 Digits)	F0
Wand über Giebel rechts Giebel Straße (ca. 15 Digits)	F0
Wand über Fenster Kinderzimmer linke Leibung (ca. 60 Digits)	F+
Wand über Ecke Wohnzimmer / Terrasse (ca. 80 Digits)	F++
Wand über Wand Küche Dachschräge rechts zum Schlafzimmer (ca. 125 Digits)	F+++

Zuordnung der Feuchtigkeitswerte Spalte Kurz-Bewertung:

F0 = trocken / keine Feuchte F+ = leicht erhöhte Feuchte F++ = erhöhte Feuchte F+++ = stark erhöhte Feuchte / nass

Dielektrizitätsverfahren



Fazit:

Können nur gleiche Materialien verglichen werden

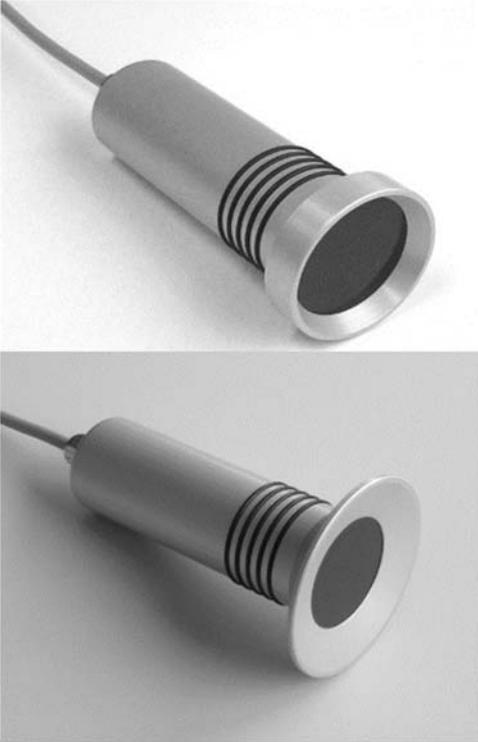
Angabe meist in Digit (keine Masse%)

Je nach Hersteller 30-50 mm tiefe Messung

Als Indikator für:

- ✓ Trocken
- ✓ Feucht
- ✓ Nass

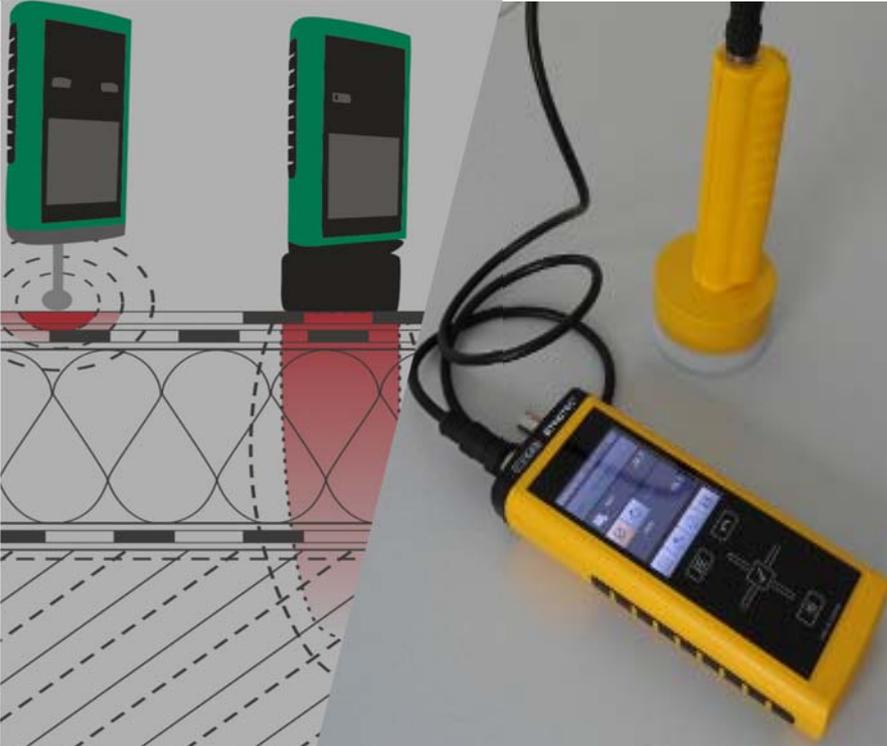
Mikrowellenmessung



Q rgleip\$ r q ivq err\$

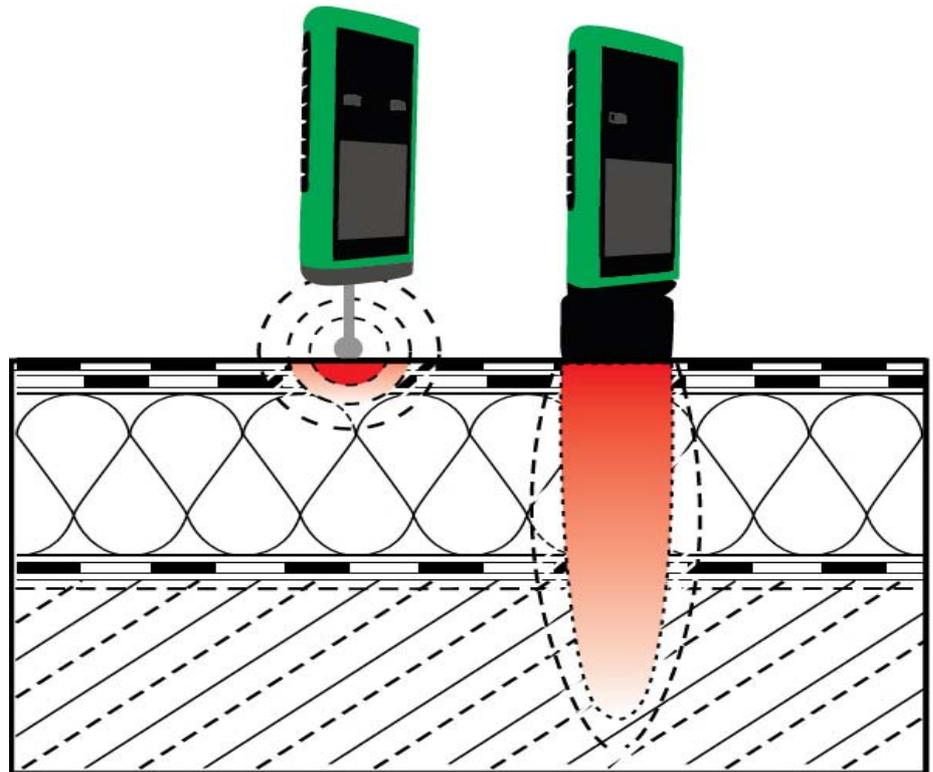
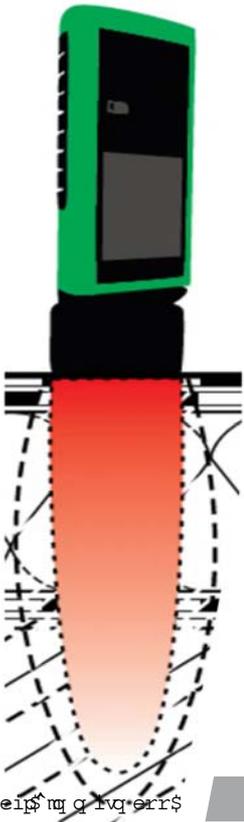
:7

Mikrowellenmessung



:8 Q rgleip\$ r q ivq err\$ **Auch ein zerstörungsfreies hochfrequentes dielektrisches Messverfahren**

Mikrowellenmessung



Unterschied Dielektrisch / Mikrowelle

Mikrowellenmessung



Fazit:

Zerstörungsfreie Messung reflektierter Mikrowellenstrahlen.

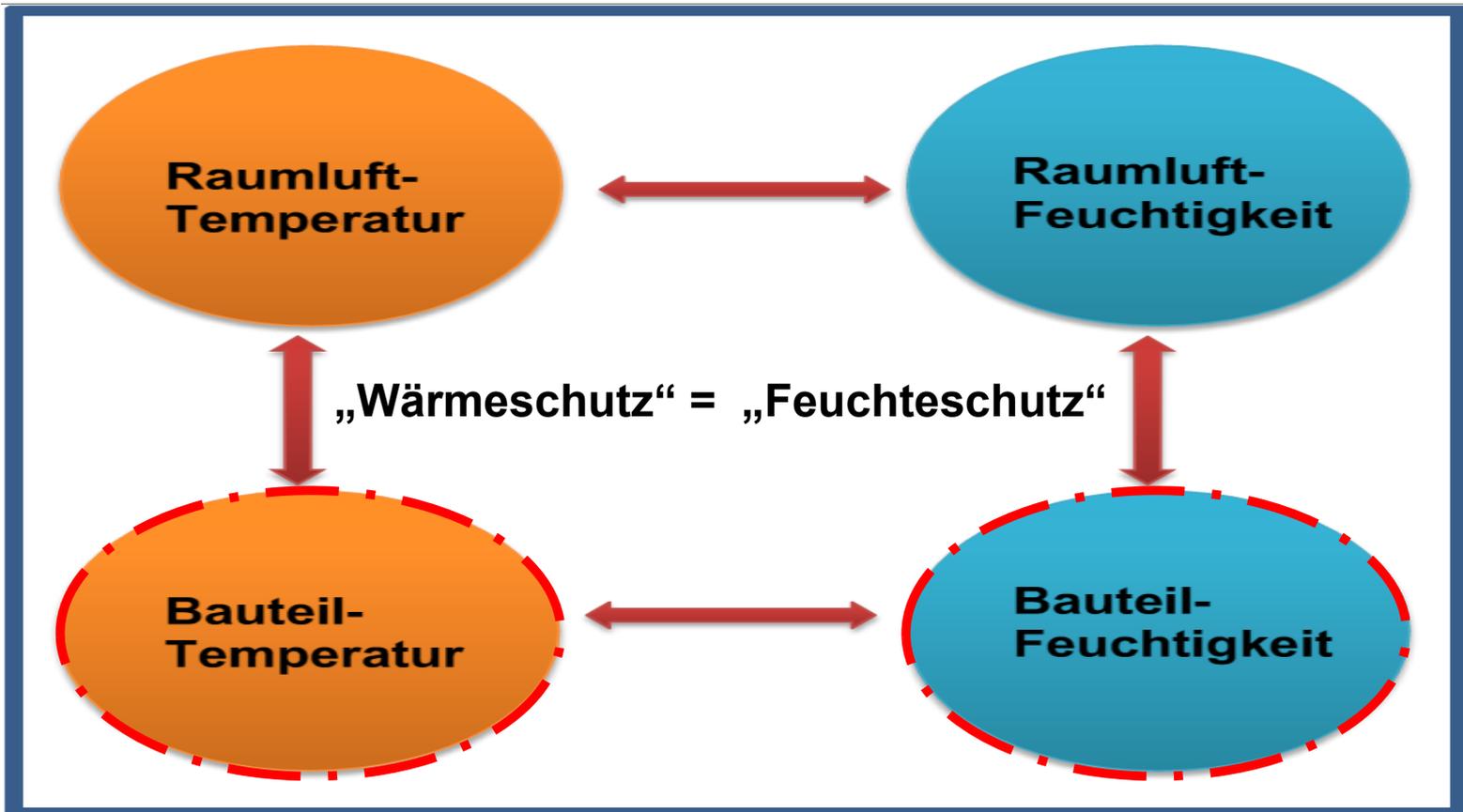
Dimensionsloser Messwert, der im Abgleich mit einem Referenzwert Hinweise auf erhöhte Feuchte liefert.

Die Eindringtiefe ist abhängig vom Messkopf.

Das zu messende Bauteil muss dicker sein als das Messfeld

Wird oft bei Rastermessungen eingesetzt

Keine Beeinflussung durch Salze



Oberflächentemperaturen

Faktoren die die Bauteiltemperaturen beeinflussen

- Die Außentemperatur
- Solare Wärmezufuhr
- Wärmebrücken
- Luftundichtigkeiten
- Die Innentemperatur
- **Der U-Wert des Bauteils**



U-Wert Abschätzung Prinzip „Bierdeckelberechnung“

Man nehme die Wärmeleitzahl des Wärmedämmstoffs und teile dies durch den gewünschten U-Wert.

z.B.: gewünschter U-Wert $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Dämmstoff mit $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

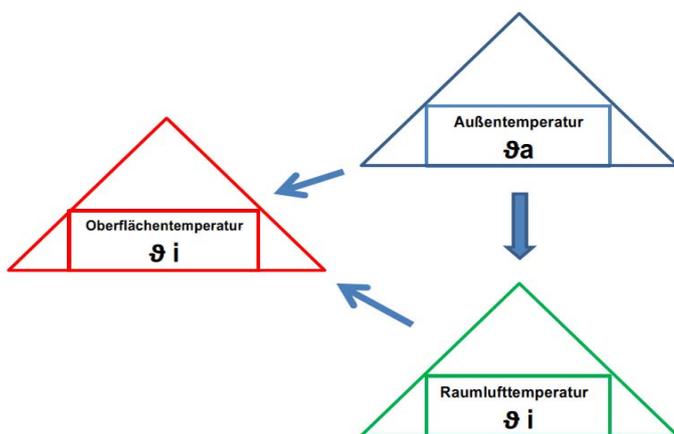
$$0,035 / 0,14 = 25 \text{ cm Dämmstoffdicke}$$

Diese Faustformel dient dazu, den Zusammenhang zwischen dem U-Wert und der Dicke der Dämmung abzuschätzen.
Nicht berücksichtigt werden dabei die Wärmeübergangswiderstände, sonst noch vorhandene Bauteilschichten sowie ein möglicher Holzanteil und ersetzt nicht eine dezidierte U-Wert Berechnung.)



Quelle: [http://www.energieeffizienz.de](#) / 4

U-Werte und Oberflächentemperaturen



Beispiel:
Innentemperatur : 20°C
Außentemperatur: -5°C

U-Wert = $1,23 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Wärmeübergangswiderstand innen $0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.

Berechnung:
 $20^\circ\text{C} - 1,23 \times (0,13 \times 25) = 16^\circ\text{C}$

(Bei Schimmelberechnungen wird ein R_{si} -Wert $0,25$ eingesetzt) = $12,32^\circ\text{C}$)



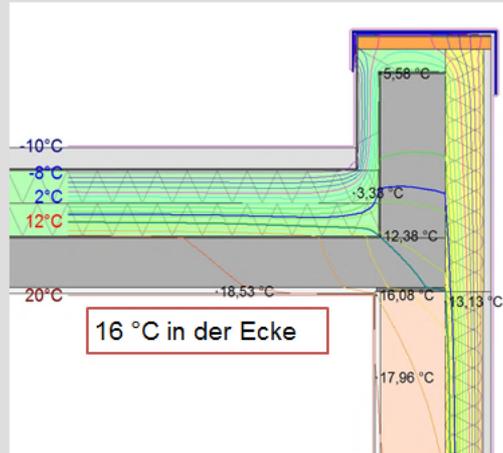
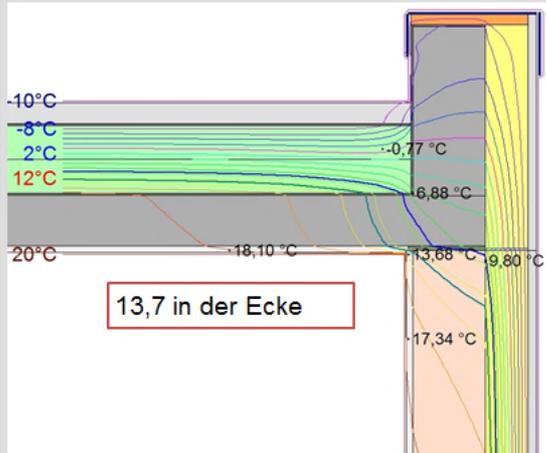
Quelle: [http://www.energieeffizienz.de](#) / 4

Flachdach mit Attika

▶ Attika ohne Dämmung

Attika mit 60 mm Dämmung

▶ Dämmstoffdicke Dach: 160 mm



Oberflächentemperatur

Kontakt Thermometer



Kontakt-Thermometer

Temperaturmessung von festen Materialien bis hin zu Flüssigkeiten

Widerstandsthermometer mit Pt100 Sensoren

Werden auf die zu messende Oberfläche gedrückt

Sekundenschnelle Ergebnisse

Bei Glas oder metallisch glänzenden Oberflächen

Einige Geräten ermöglichen gleichzeitig die Messung von Raumtemperatur und Luftfeuchte



Q m leip\$ m q ivq err\$

/ 7

Oberflächentemperatur

Infrarot- Thermometer

Thermoscan



Q m leip\$ m q ivq err\$

/ 8

Thermoscan

Berührungsloses Messverfahren

Aufzeichnung der Messdaten in Kombination mit Bild (SD-Karte)

Aufnahme im Verhältnis 50:1 Entfernung zu Motivgrößen

z.B.: Verhältniszahl 50:1 = $\text{Abstand}/50 = \text{Größe des Messfleck}$
Abstand 2,40m / 50 = 4,8 cm Messfleck

Bestimmung der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte

Sekundenschnelle Ergebnisse



Q rgleip\$ r q ivq err\$ / ; 9

Infrarot-Thermometer (Pyrometer)

Berührungsloses Messverfahren

Je weiter die Entfernung-desto größer der Messpunkt

So nah wie möglich an die Messstelle gehen

z.B.: Verhältniszahl 8:1 = $\text{Abstand}/8 = \text{Größe des Messfleck}$
Abstand 2,40m / 8 = 30 cm Messfleck

Sekundenschnelle Ergebnisse



Q rgleip\$ r q ivq err\$ / ; :

U-Wertmessung

Es sind 3 Temperaturwerte erforderlich:

- Außentemperatur
- Oberflächentemperatur der Wand innen
- Raumlufttemperatur



Q m lei\$ m q ivq err\$ / ; ;

U-Wert messen anstelle berechnen



Q m lei\$ m q ivq err\$ / ; ;



/ ; ;

U-Wertmessung

Funkfühler zur Bestimmung der Außentemperatur draußen

Lufttemperatur Innen wird über den Sensor am Gerät ermittelt

Oberflächentemperatur mit 3 Adern des Fühlers mit Knetmasse an der zu messenden Oberfläche aufbringen

U-Wert wird am Display des Gerät angezeigt

Kann in Software weiter bearbeitet werden (Bericht)



Dokumentation



Grundsätzliche Überlegungen:

- Jede Messung ist „einzigartig“
- Messprotokoll den Charakter einer Checkliste
- Vor Untersuchungstermin Messgeräten vertraut machen
- Batterien, Akkus und Ersatz
- Die Messungen und Untersuchung mit Bildern dokumentieren
- Auch hier gilt eine entsprechende Qualitätsanforderung

- **Nicht nur Nahaufnahmen machen!**

„Qualifizierte“ oder „Quantifizierte“ Untersuchung



„Qualifizierte“ Untersuchung:

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

Ist die Wärmedämmung durchfeuchtet?

Falls ja, welche Bereiche sind betroffen.

„Quantifizierte“ Untersuchung:

Die Untersuchung kann aber noch erweitert werden.

Was ist die Ursache?

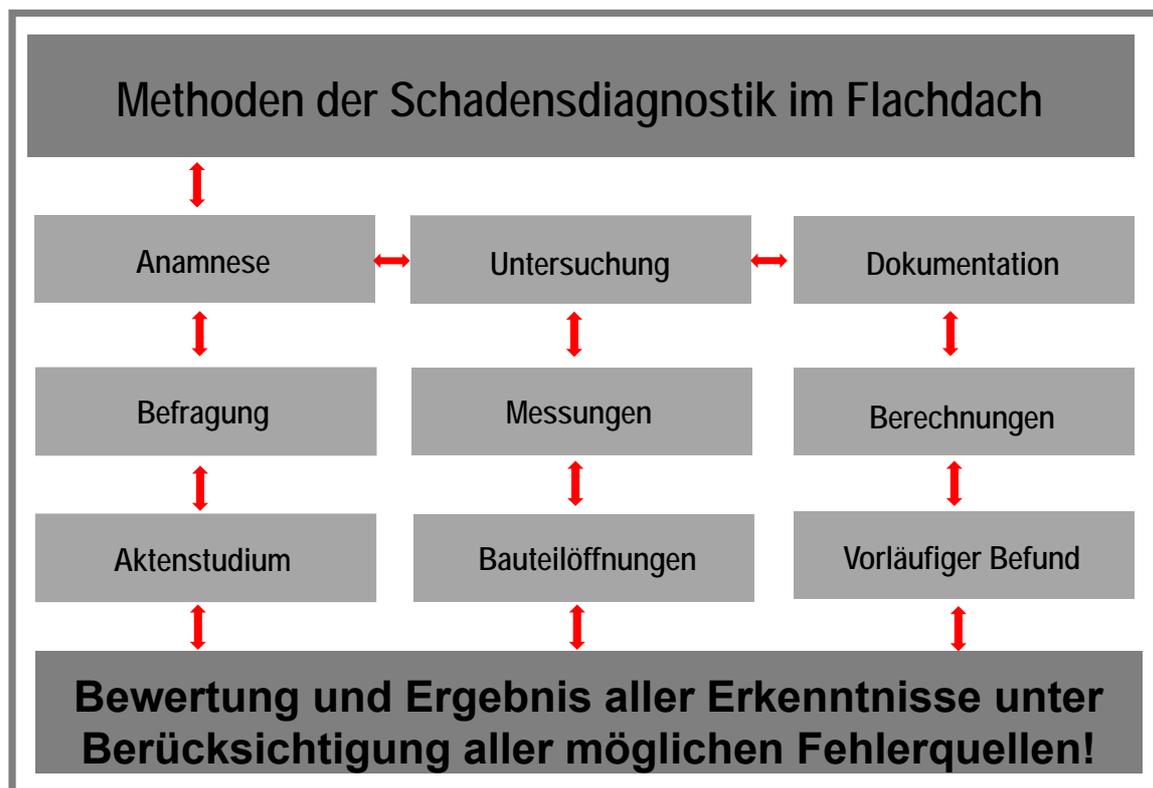
Wer ist der Verursacher?

Wie stark ist die Durchfeuchtung?

Ist eine Rücktrocknung möglich? Falls ja, in welchem Zeitraum.

Wie ist eine Sanierung möglich?

Wie hoch sind die voraussichtlichen Kosten?



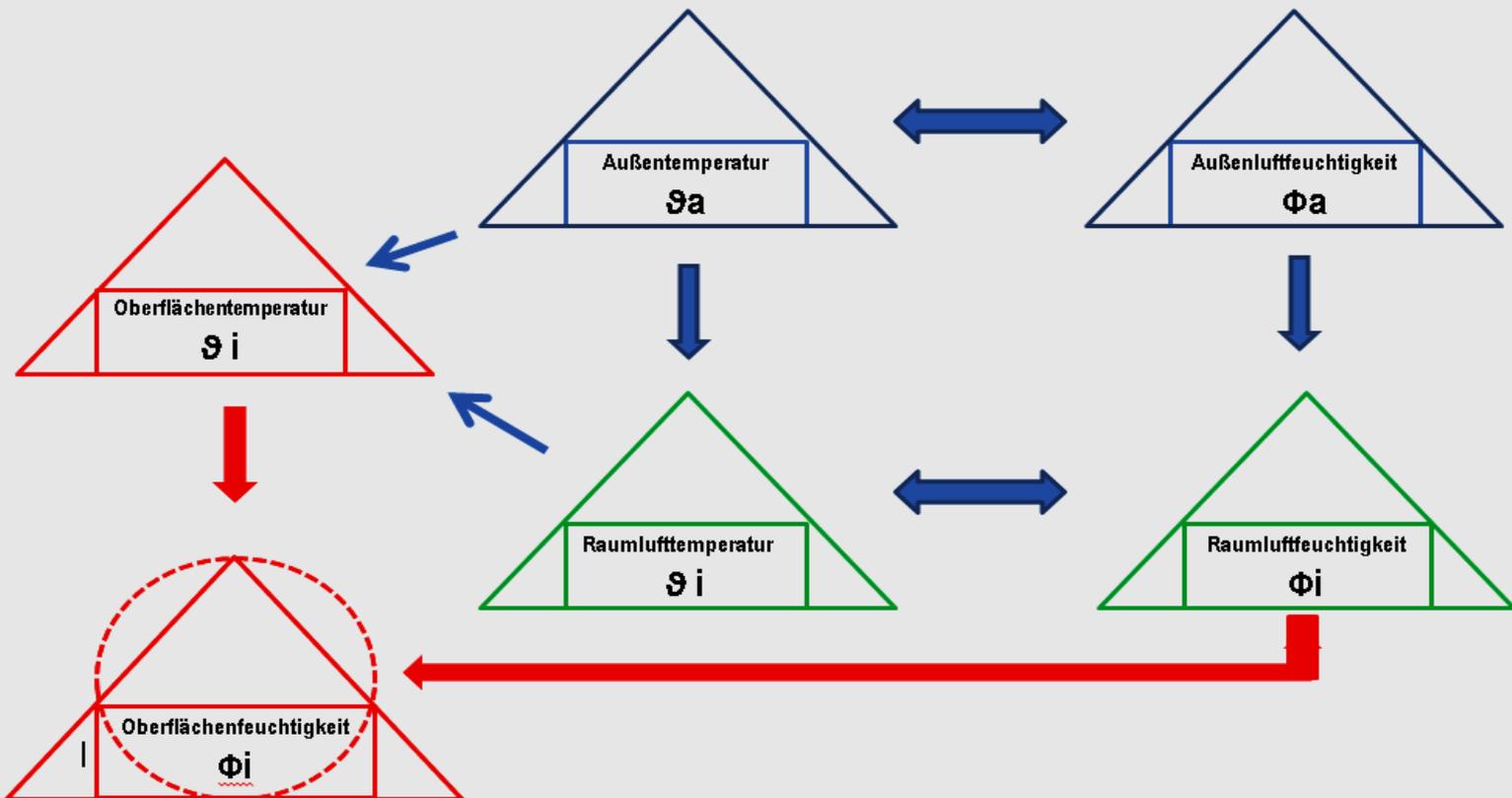
Verantwortlichkeiten

Anwenderfehler +/-

Interpretationsfehler +/-

Fehlerbeurteilung +/-

Messtechniker





Fazit:

Die gewonnenen Messergebnisse stellen selber immer nur eine bestmögliche Schätzung des wahren Messwertes dar!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

