Allgemeine Angaben zur Schimmelpilzproblematik in Wohnungen

Aus Untersuchungen zu Wachstumsbedingungen von Pilzen geht hervor, dass im wohnungsüblichen Temperaturbereich bei relativer Luftfeuchtigkeit an und unmittelbar vor den Bauteiloberflächen ab etwa 80 % Schimmelpilzwachstum einsetzt, sofern das erforderliche Nahrungsangebot (z. B. über den Hausstaub und Aerosole) sichergestellt ist.

Wärme fließt immer von der warmen zur kalten Seite. Die Größe des Wärmeflusses an Außenbauteilen von Wohnungen ist abhängig von der Temperaturdifferenz der Luft beider Seiten und deren Strömungsgeschwindigkeit, dem Wärmedurchlasswiderstand (R) der Stoffe aus den die Bauteile bestehen, den Wärmeübergangswiderständen (R_{si} und R_{se}) sowie die Größe der von der Luft angeströmten Oberflächen.

Wärmebrücken sind Stellen oder Bereiche, an denen der Wärmefluss erhöht ist: Stoffliche oder konstruktive Wärmebrücken liegen bei niedrigem Wärmedurchlasswiderstand vor, geometrische Wärmebrücken bei Kanten und Ecken, da aufgrund unterschiedlicher Oberflächengröße innen und außen ein erhöhter Wärmestrom auftritt.

Durch Abkühlung der an kälteren Oberflächen vorbeistreichenden Luft wird deren relativer Feuchtigkeitsgehalt erhöht, da der mögliche absolute Wassergehalt der in der Luft gespeichert werden kann, temperaturabhängig ist. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen der wärmeren Raumluft und der zur Abkühlung führenden kälteren Oberfläche ist, desto größer ist die Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit.

Der Gehalt der relativen Luftfeuchtigkeit (Φ) gibt an wie hoch der Prozentsatz der von der Luft aufnehmbare Wassergehalt bis zur Sättigung ist. So kann beispielsweise Luft mit einer Temperatur (Θ) von 20 °C unter atmosphärischen Bedingungen ca. 17,3 g Wasser pro m³ aufnehmen (c_s). Ein Gehalt von Φ = 50 % bedeutet somit, dass diese Luft 17,3 / 2 = 8,65 g Wasser je m³ (c) enthält. 15 °C warme Luft unter atmosphärischen Bedingungen kann 12,85 g Wasser pro m³ aufnehmen. Wenn Luft mit Θ = 20 °C und Φ = 50 % auf Θ = 15 °C abgekühlt wird, so erhöht sich Φ auf 8,65 / 12,85 x 100 ≈ 67,3 %.

Unterschreitet die Innenoberfläche eines Außenbauteils die Taupunkttemperatur der Innenraumluft, fällt aus der an dieser Oberfläche vorbeistreichenden, infolge Abkühlung wassergesättigten Luft Tauwasser aus. Tauwasser kann nur verhindert werden, solange die Oberflächentemperatur (Θ_{si}) größer ist als die Taupunkttemperatur (Θ_s). Die Höhe der Temperatur des Taupunkts ist wegen der Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit durch das Wohnverhalten beeinflusst, die Temperatur der Bauteiloberflächen durch den Wärmeschutz und die klimatischen Verhältnisse.

Bei saugfähigen Baustoffoberflächen setzt in den Poren bereits Kapillarkondensation ein, wenn die Luftfeuchtigkeit (Φ_{si}) der Grenzschicht, bezogen auf die Oberflächentemperatur (Θ_{si}), noch nicht gesättigt ist (z. B. oberhalb von Φ_{si} > 80 %)[1]. So werden Lebensbedingungen für Schimmelpilze bereits geschaffen, wenn noch kein frei sichtbares Tauwasser entsteht. Schimmelpilzwachstum wird daher nur sicher verhindert, wenn die Lufttemperatur oberflächennah nicht weiter absinkt, als dass deren relativer Feuchtigkeitsgehalt 80 % nicht überschreitet.

Je geringer der relative Feuchtigkeitsgehalt der Luft ist, desto größer muss deren Abkühlung sein bis der zur Überschreitung des zum Schimmelwachstum ermöglichende Grenzwert überschritten wird. D. h. je höher die relative Feuchtigkeit in der Raumluft ist, desto größer ist die Gefahr, dass es zu Myzelbildungen an kalten Oberflächen, insbesondere an Wärmebrücken, kommt.

Die Höhe der Oberflächentemperatur, bei der noch kein Schimmelwachstum erfolgt, ist durch den Wärmeschutz und die klimatischen Verhältnisse bedingt, als auch vom Wohnverhalten (Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit) abhängig.

Hinsichtlich des Wärmeschutzes *(!)* sind zu dessen Berechnung Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände (R) in DIN 4108 festgelegt[2]. In Bezug auf die vom Wohnverhalten abhängige Raumluftfeuchtigkeit, -temperatur als auch das Lüftungsverhalten gibt es keine verbindliche Reglementierung[3].

---

1 Je nach Sorptionseigenschaften der Oberflächenmaterialien werden in diesen Zeiten unterschiedliche Mengen an Feuchtigkeit in der obersten Bauteilschicht absorbiert, die in Zeiten, in denen keine oder geringere Feuchtebelastungen in den Räumen vorherrschen, wieder als Desorption in die Raumluft zurücktransportiert werden (der Feuchtetransport durch Diffusion und Kapillarleistung in den Oberflächen ist in der Regel von untergeordneter Bedeutung). Während der Desorptionsphase stellt sich nahe der Oberfläche eine Ausgleichsfeuchte ein, die durch die Materialfeuchte, die sich beim Adsorptionsvorgang eingestellt hat, bestimmt wird. Je mehr Feuchtigkeit bei der Adsorption aufgenommen wird, um so länger dauert die Desorptionsphase. Dadurch kann es vorkommen, dass lange nachdem die Feuchteproduktion bereits beendet ist, durch den Desorptionsprozess eine hohe Ausgleichsfeuchte vor der Bauteiloberfläche auftritt.
Aufgrund der niedrigeren Oberflächentemperatur der Außenwände bei kalter Witterung tritt der kritische Zustand – vornehmlich in Bereichen von Wärmebrücken – häufiger auf, in denen die Materialfeuchte die Schimmelpilzwachstum ermöglichende kritische Oberflächenfeuchte während der Desorptionsphase bestimmt.

2 Erstmals in einer Baunorm ist in DIN 4108-2, Ausgabe März 2001, explizit auf die Vermeidung von Schimmel eingegangen. In den Vorgängernormen ist zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung nichts angegeben, hierin sind nur Angaben zur Vermeidung von Tauwasseranfall angegeben. Zur Taupunktberechnung (Φ_s) ist nach alter Norm eine Außenlufttemperatur von – 10 °C anzusetzen. Nach heute gültiger Norm zur Vermeidung von Schimmelpilz fließt die Außenlufttemperatur mit – 5 °C in die Berechnung ein und es wird ein Grenzwert für die oberflächennahe relative Luftfeuchtigkeit (Φ_{si}) von 0,8 x Φ_s zugrunde gelegt.

3 Empfehlungen für Mindestlüftungen gibt es in einer Vielzahl von Veröffentlichungen. In der Regel werden hierin 2malig, bei ständiger Anwesenheit 3malig tägliches Stoß- oder Querlüften proklamiert. Hinsichtlich des Raumklimas werden regelmäßig Raumtemperaturen ≥ 16 °C und relativen Luftfeuchtigkeit ≤ 50 % (in Anlehnung an DIN 4108) in der Baufachliteratur empfohlen, medizinische Empfehlungen sprechen hingegen hinsichtlich der relativen Feuchtigkeiten in Aufenthaltsräumen von 50 – 70 %.

BAU-SACHVERSTÄNDIGENBÜRO
DIPL.-ING. (U.) NIELS CHRISTIANSEN
von der IHK zu Kiel öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schäden an Gebäuden
Wilh.-Leuschner-Weg 17
25524 Itzehoe
Tel.: 04821/957648
Fax: 04821/957649
www.sv-christiansen.de

Erläuterungen zur grafischen Darstellung der Raumklima-Messprotokolle

Die in den nachstehend gezeigten Grafiken angegebenen Erklärungen dienen dem Verständnis der in der Anlage befindlichen Messprotokolle.

Die in den Gesamtdarstellungen gezeigten Messpunkte (obere Grafik) sind interpoliert, wogegen die in den 48-Stunden-Intervall-Aufzeichnungen (untere Grafik) dargestellten Punkte die tatsächlich gespeicherten Einzelmesswerte zeigen. Der Sachverständige programmiert für die Datenspeicherung der Loggger einen Rhythmus von i. d. R. 15 Minuten.

Die gezeigten Temperaturkurven zeigen jeweils den aktuellen Messwert der zum Zeitpunkt der Speicherung herrschenden Umgebungslufttemperatur des Raumklimawächters/Datenloggers (Genauigkeit: besser als 1,0 K), die Kurven der relativen Feuchtigkeit zeigen die zwischen den Speicherungen herrschenden Minimal- und Maximalwerte der Umgebungsluft (Genauigkeit: besser als ± 4,0 %).

Die Farben, in der die Messkurven dargestellt sind, stimmen nicht unbedingt mit denen der Auswertung im vorliegenden Fall überein, sie werden bei der Programmierung automatisch ausgewählt.

Allgemeine Angaben zur Schimmelpilzproblematik in Wohnungen finden Sie auf diesem Faltblatt links,
Erläuterung zur tabellarischen Auswertung der Temperaturmessungen sind umseitig angegeben.

Erläuterung zur tabellarischen Auswertung der Temperaturmessungen

Im nachstehenden Beispiel sind die physikalischen Grundlagen der tabellarischen Temperatur-Messergebnisse erläutert und grundlegende Anmerkungen zu deren Interpretation angegeben.

Im oberen Tabellenbereich ist die bewertete mittlere Raumtemperatur und die im Raum herrschende relative Feuchte eingetragen, sowie die tendenziell durchschnittliche Außentemperatur der letzten Tage vor den Oberflächen-Temperaturmessungen. Die Werte des Raumklimas stammen von der Datenloggeraufzeichnung oder sie wurden in einem Umfeld mit gedämpften Klimaschwankungen (z. B. in einem Wäschestapel oder in der Möbelpolsterung) gemessen. Darunter sind die Normenwerte für die Tauperiode (Winter) der DIN 4108-2: 03-2001 <Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz> angegeben.

In der ersten Tabellenspalte ① sind die Temperatur-Mess-Stellen durchnummeriert. Die gleichen Zahlen befinden sich auf den Lichtbildern, wo sie die jeweiligen Messstellen markieren. Alphabetisch gekennzeichnet sind an Innenbauteilen liegende Mess-Stellen, hier ist die Auswertung **grau** markiert, da die einfache Beurteilung der Berechnungsergebnisse zu falschen Schüssen führen würde.

In der zweiten Spalte ② sind die an diesen Mess-Stellen gemessenen Temperaturen eingetragen. Sie wurden mit einem Infrarotthermometer an der raumseitigen Oberfläche gemessen.

In der dritten Spalte ③ sind die Temperaturen eingetragen, die an den Mess-Stellen bei einem „Winter"klima gemäß DIN 4108-2: 03-2001 herrschen würden (Raumklima: 20 °C / 50 % rel. LF.; Außenlufttemperatur: – 5 °C). Errechnet werden diese Werte mit nachstehender aus DIN 4108-2 bzw. E DIN EN ISO 10211-2 abgeleiteter Formel:

$$\Theta_{si}^{(norm)} = \frac{\Theta_i^{(norm)} - (\Theta_i - \Theta_{si})}{\Theta_i - \Theta_a} \times \left(\Theta_i^{(norm)} - \Theta_a^{(norm)}\right)$$

$\Theta_{si}^{(norm)}$	Oberflächentemperatur die bei Bedingungen nach DIN 4108-2 herrschen würde
$\Theta_i^{(norm)}$	Raumlufttemperatur, wie in DIN 4108-2 angegeben [20 °C]
$\Theta_a^{(norm)}$	Außenlufttemperatur, wie in DIN 4108-2 angegeben [– 5 °C]
Θ_i	gemessene Raumlufttemperatur (oberhalb der Tabelle eingetragen)
Θ_a	gemessene Raumlufttemperatur (oberhalb der Tabelle eingetragen)
Θ_{si}	gemessene Oberflächentemperatur (in Spalte 2 angegeben)

Temperaturwerte, bei denen sich relative Raumluftfeuchte von ≤ 50 % an der Oberfläche auf 80 % erhöht sind **rot** gekennzeichnet, die von ≤ 60 % **orange**.

In der vierten Spalte ④ ist angegeben, ab welcher relativen Raumluftfeuchte unter Temperaturbedingungen gemäß DIN 4108-2 mit Schimmelpilzbildung zu rechnen ist. Die Berechnung erfolgt wie folgt: An Hand dieser Werte lässt sich die thermische Qualität der Bausubstanz ablesen.

$$\Phi_{si} = \frac{4{,}9209 \times e^{0{,}0635 \times \Theta_i \times \Phi_i^{(grenz)}}}{4{,}9209 \times e^{0{,}0635 \times \Theta_{si}^{(norm)}}}$$

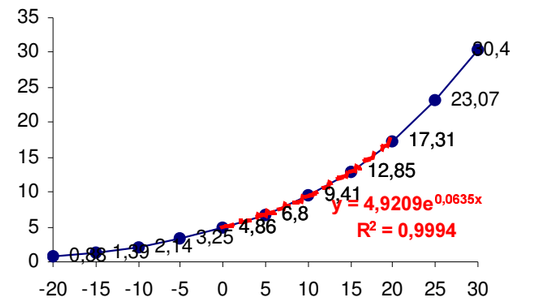
$\Phi_i^{(\max)}$	maximale Raumluftfeuchtigkeit [%], bei der nicht mit Schimmelansiedlung zu rechnen ist
$\Theta_i^{(norm)}$	Raumlufttemperatur, wie in DIN 4108-2 angegeben [20 °C]
$\Theta_{si}^{(norm)}$	Oberflächentemperatur [°C], die bei Bedingungen nach DIN 4108-2 herrschen würde
$\frac{4{,}9209 \times e^{0{,}0635 \times \Theta_i^{(norm)}}}{4{,}9209 \times e^{0{,}0635 \times \Theta_s^{(norm)}}}$	Die Formeln geben in guter Näherung den Kurvenverlauf wieder, in der die von der Luft aufnehmbare Wassermenge zur Temperatur im Temperaturbereich 0 – 20 °C in Beziehung steht. Die Funktion ist aus den in Physikbüchern angegebenen Werten entwickelt, wie nebenstehend abgebildet.

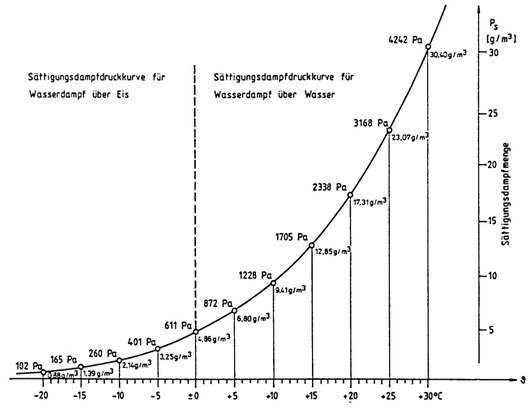
Raumbezeichnung:	gemessenes Klima (Datenloggerauswertung/Infrarot-)			gemessenes Klima (Wetterdienstdaten):		
Schlafzimmer		Temp.	rel. LF.		Temp.	rel. LF.
	innen:	19,5 °C	58,0 %	außen:	-4,0 °C	90,0 %
	=> (Wassergehalt der Luft bei 1013 mbar:	10,626 g/m³)		=> (Wassergehalt der Luft bei 1013 mbar:	3,274 g/m³)	
	Winter-Normbedingungen nach DIN 4108-2 :					
	innen:	Temp. 20,0 °C	rel. LF. 50,0 %	außen:	Temp. -5,0 °C	rel. LF. 80,0 %
	=> (Wassergehalt der Luft bei 1013 mbar:	8,525 g/m³)		=> (Wassergehalt der Luft bei 1013 mbar:	2,723 g/m³)	

Spalte

① Mess-Stelle (s. Fotos)	② Oberflächen-Temp. gemessen	③ bezogen auf DIN 4108-2	④ relative Luftfeuchtigkeit an der Mess-Stelle bei Bed. gem. DIN 4108-2	⑤ Außenklima gem. DIN 4108-2, vorh. Raumlufttemp. u. rel. LF. von 50,0 %	55,0 %	60,0 %	58,0 %
1	14,5 °C	14,7 °C	57,1 %	67,9 %	74,7 %	81,5 %	78,8 %
	Toleranzbereich	13,5 °C 15,6 °C	53,2 % 60,8 %	84,3 % 54,5 %	92,2 % 60,4 %	100,0 % 66,3 %	96,8 % 64,0 %
2	14,1 °C	14,1 °C	55,2 %	70,2 %	77,3 %	84,3 %	81,5 %
	Toleranzbereich	12,9 °C 15,3 °C	51,5 % 58,8 %	87,3 % 56,3 %	95,4 % 62,4 %	103,5 % 68,6 %	100,2 % 66,1 %
3	16,0 °C	16,3 °C	63,2 %	61,4 %	67,5 %	73,6 %	71,2 %
	Toleranzbereich	15,1 °C 17,4 °C	59,0 % 67,3 %	76,0 % 49,3 %	83,1 % 54,7 %	90,1 % 60,1 %	87,3 % 57,9 %
4	15,0 °C	15,2 °C	59,0 %	65,6 %	72,2 %	78,8 %	76,1 %
	Toleranzbereich	14,0 °C 16,4 °C	55,1 % 62,9 %	81,5 % 52,7 %	89,0 % 58,4 %	96,6 % 64,2 %	93,6 % 61,9 %
5	12,5 °C	12,6 °C	49,9 %	77,7 %	85,5 %	93,3 %	90,2 %
	Toleranzbereich	11,9 °C 13,6 °C	46,9 % 53,1 %	96,8 % 62,2 %	105,7 % 68,0 %	114,6 % 75,7 %	111,2 % 73,0 %
6	12,0 °C	12,0 °C	48,2 %	80,4 %	88,4 %	96,5 %	93,3 %
	Toleranzbereich	10,8 °C 13,2 °C	45,2 % 51,4 %	100,8 % 64,3 %	109,5 % 71,5 %	118,2 % 78,8 %	115,1 % 76,5 %
a	18,0 °C	18,4 °C	72,3 %	53,6 %	59,0 %	64,3 %	62,2 %
	Toleranzbereich	17,3 °C 19,5 °C	67,8 % 77,0 %	66,2 % 43,2 %	72,4 % 47,3 %	78,5 % 52,5 %	76,1 % 50,7 %
b	17,0 °C	17,3 °C	67,6 %	57,3 %	63,1 %	68,8 %	66,5 %
	Toleranzbereich	16,2 °C 18,4 °C	63,4 % 72,0 %	70,5 % 46,2 %	77,5 % 51,2 %	84,5 % 56,2 %	81,5 % 54,2 %

In der Tabelle sind die berechneten Werte unter Berücksichtigung der theoretisch maximal möglichen Relativ- und Absolut-Toleranzen der Messgeräte (am jeweiligen unteren Zeilenrand) zusätzlich für jede Mess-Stelle angegeben.





In Abhängigkeit der Ergebnisse sind die Werte farbig gekennzeichnet:

rot	dargestellt sind die Werte, bei denen auch bei Einhaltung der in DIN 4108-2 genannten Bedingungen mit Schimmelpilzbildung gerechnet werden muss. **Zur Vermeidung ist baulich Abhilfe zu schaffen**, z. B. durch Anbringung zusätzlicher (lokaler) Wärmedämm-Maßnahmen**.**
gelb	markiert sind die Werte, bei denen bei Temperaturbedingungen der in DIN 4108-2 und leicht erhöhter Raumluftfeuchtigkeit mit Schimmelpilzbildung zu rechnen ist. **Wenn trotz intensiver Lüftung keine ausreichende Reduzierung der Luftfeuchte erreicht werden kann, ist baulich Abhilfe zu schaffen**, z. B. durch zusätzliche Wärmedämmmaßnahmen oder der Installation von Luftentfeuchtungsgeräten.
grün	dargestellt sind die Werte bei denen auf Raumluftfeuchtigkeit zurückzuführende Schimmelansiedlung nicht oder nur bei extrem zu hoher Luftfeuchtigkeit (> 60 %) zu erwarten ist. Durch Verbesserung der Wärmedämmung ist kaum eine Verbesserung zu erzielen.

Ab der fünften Spalte sind die oberflächennahen Feuchtigkeitswerte berechnet, die in Abhängigkeit von unterschiedlichen relativen Raumluftfeuchtigkeiten unter den vor Ort festgestellten Raumlufttemperaturen bei einer Außenlufttemperatur von – 5 °C herrschen würden:

Die in der fünften Spalte ⑤ eingesetzten 50 % relative Raumluftfeuchtigkeit ist der Wert der den Wärme- und Feuchteschutzberechnungen nach DIN 4108-2 zu Grunde zu legen sind (unabhängig von dem Gebäudealter).

Die Berechnungsspalten ⑥ und ⑦ mit 55 und 60 % sind in dem Fall von Bedeutung, wenn regelmäßiges Stoßlüften nicht praktikabel ist, oder insbesondere die Geometriebedingungen in der Wohnung (Wohnungsschnitt) keine Querlüftung zulassen.

In der achten Spalte ⑧ sind die Feuchtigkeitswerte angegeben, die sich auf Grund der tatsächlich vor Ort vorhandenen (im Datenlogger erfassten) relativen Luftfeuchtigkeit ergeben.

An Hand der in diesen Spalten berechneten Werte lässt sich (in Verbindung mit den Datenloggerauswertungen und den geometrischen Verhältnissen und Lüftungsmöglichkeiten in der Wohnung) ablesen, wie das Nutzungsverhalten in der Wohnung bestellt ist.

Auch die Werte in diesen Spalten sind In Abhängigkeit der Ergebnisse farbig unterlegt:

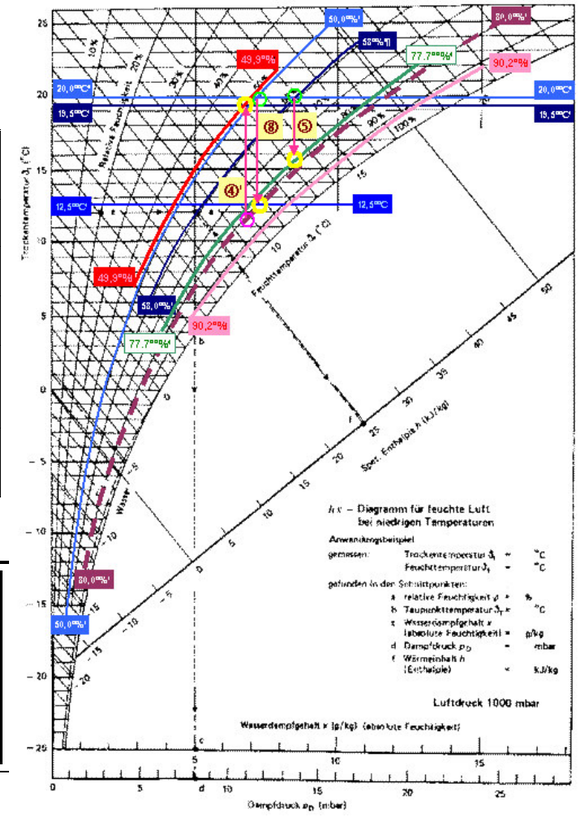
rosa **rot**	unterlegt sind die Werte, bei denen die relative Raumluftfeuchtigkeit an der Oberfläche auf > 80 % ansteigt. Ab etwa diesem Grenzwert ist **mit der Ansiedelung von Schimmel zu rechnen**. Mit blauer Schrift auf rotem Grund gekennzeichnet sind die Werte die 100 % übersteigen. Hier tritt Kondensat aus der Raumluft aus.
grün	unterlegt sind die Werte bei denen bei den in der Rechnung berücksichtigten Randbedingungen nicht mit auf Raumluftfeuchtigkeit zurückzuführende Schimmelansiedlung zu rechnen ist.

Die Werte in den Spalten errechnen sich nach folgender Formel:

$$\Phi_i^{(\max)} = \frac{4{,}9209 \times e^{0{,}0635 \times \Theta_i^{(norm)}}}{4{,}9209 \times e^{0{,}0635 \times \Theta_{si}^{(norm)}}} \times 80\%$$

Φ_{si}	Oberflächennahe Feuchtigkeit [%], die bei entsprechender relativer Raumluftfeuchtigkeit bei in DIN 4108-2 angegebenen Temperaturen herrscht.
Θ_i	gemessene Raumluft-Durchschnittstemperatur [°C].
$\Theta_{si}^{(norm)}$	unter Bedingungen nach DIN 4108-2 herrschende Oberflächentemperatur [°C]
$\Phi_i^{(grenz)}$	der Rechung zu Grunde gelegte relative Raumluftfeuchtigkeit [%]
$\frac{4{,}9209 \times e^{0{,}0635 \times \Theta_i}}{4{,}9209 \times e^{0{,}0635 \times \Theta_{si}^{(norm)}}}$	Funktion, die das Verhältnis der die von der Luft aufnehmbare Wassermenge zur Temperatur im Temperaturbereich 0 – 20 °C beschreibt.
80%	Da bei einer relativen Umgebungsfeuchte von ca. 80 % mit Schimmelpilzwachstum zu rechnen ist, (E DIN EN ISO 13788) ist dieser Faktor einzusetzen.

Sämtliche Feuchtigkeitsberechnungen zur Auswertung der Temperaturmessungen lassen sich auch an Hand eines hx-Diagramms (Mollier-Diagramm) graphisch durchführen, wie beispielhaft für die Werte der Mess-Stelle 5, Spalte ④, ⑤ und ⑧ des vorstehenden Beispiels vorgeführt.



BAU-SACHVERSTÄNDIGENBÜRO
DIPL.-ING. (U.) NIELS CHRISTIANSEN
von der IHK zu Kiel öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schäden an Gebäuden
Wilh.-Leuschner-Weg 17
25524 Itzehoe
Tel.: 04821/957648
Fax: 04821/957649
www.sv-christiansen.de

D:_SV_Gutachten_Vorlagen\Nässe\Schimmel\SchimmelErläuterungenA3(070326).doc