

Auszug aus einem Gerichtgutachten (2006)

Thema: Schimmelpilzbildung in 2 Räumen einer Mietwohnung in einem Mehrfamilienhaus aus dem Jahr 1956, nachdem neue Fenster eingebaut wurden. Der Schimmelpilzbefall wurde an den oberen Raumecken und an den Fenstern im unteren Bereich festgestellt.

Beweisfrage: Baumangel oder falsches Nutzerverhalten?

1. Bauphysikalische Grundlagen und Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze:

Niedrige Außentemperaturen führen zur Abkühlung der Gebäudehülle. Auf der Innenseite der Außenwände kann sich bei ungenügender Beheizung und Belüftung auf den Oberflächen Tauwasser (Kondensat) niederschlagen. An Stellen mit erhöhtem Wärmeabfluss, besonders an Innenraumecken sinkt die Oberflächentemperatur in diesem Fall zeitweilig bis zur Taupunktgrenze oder unterschreitet sie sogar. Da Raumecken strömungstechnisch ungünstig sind, kommt es auf gute Luftzirkulation an. Bei Einschränkung der Zirkulation wird zu wenig warme Heizungsluft herangeführt. Vorhänge und Möbelstücke stellen Barrieren für die Zirkulation dar und behindern eine ausreichende Erwärmung.

Ab einer relativen Luftfeuchte von 80 % sind die Bedingungen für ein Schimmelpilzwachstum gegeben. Nach neueren Untersuchungen ist es noch nicht einmal erforderlich, dass sich auf den Wänden Tauwasser bildet: Es reicht für das Wachsen von Schimmelpilzen aus, wenn während einer Zeit von 6 Stunden täglich – über mindestens 5 Tage hinweg – die relative Luftfeuchte an den Bauteiloberflächen den Wert von 80% überschreitet [Prof. Cziesielski, TU Berlin]. Die Verbreitung geschieht über Pilzsporen, die überall und immer in der Luft vorkommen. Sie sind für den Menschen unschädlich, solange eine gewisse Konzentration in Wohnräumen nicht überschritten wird.

Schimmelpilze benötigen als Lebensgrundlage ein feuchtes Milieu und ausreichend Nährstoffe. Das Kondensat (destilliertes Wasser) löst hervorragend Nährstoffe aus Untergründen, Tapeten und Farben heraus und bildet eine ideale Nahrungsquelle für Schimmelpilzsporen. Raufasertapeten mit hohem Zelluloseanteil werden bevorzugt besiedelt.

An folgenden Orten mit niedriger Oberflächentemperatur kann bei (zu) hoher Raumluftfeuchte Tauwasser auftreten z.B.:

- an raumseitigen Außenwandoberflächen,
- in Raumecken, an Gebäudeecken (geometrische Wärmebrücken),
- an den Übergängen zwischen Fenster und Fensterscheibe,
- hinter Möbeln und Vorhängen ...

Tauwasser tritt umso eher auf, je kälter die Bauteiloberfläche und/oder je feuchter die Raumluft ist.

Luftzirkulation im Raum

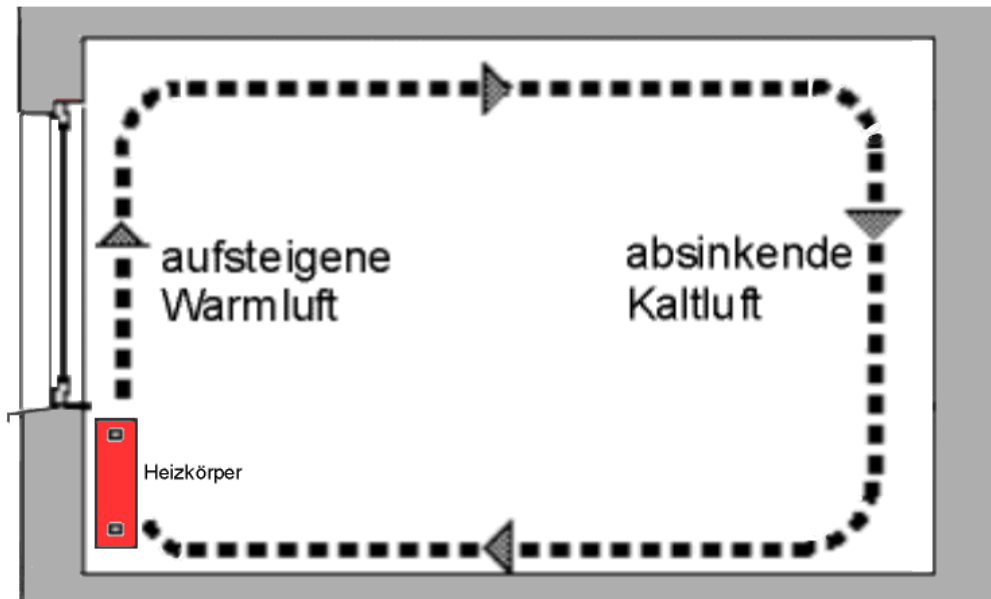


Abb. 1, Konvektiver Warmluftstrom in einem beheizten Raum

Störungen der Luftzirkulation am Fenster

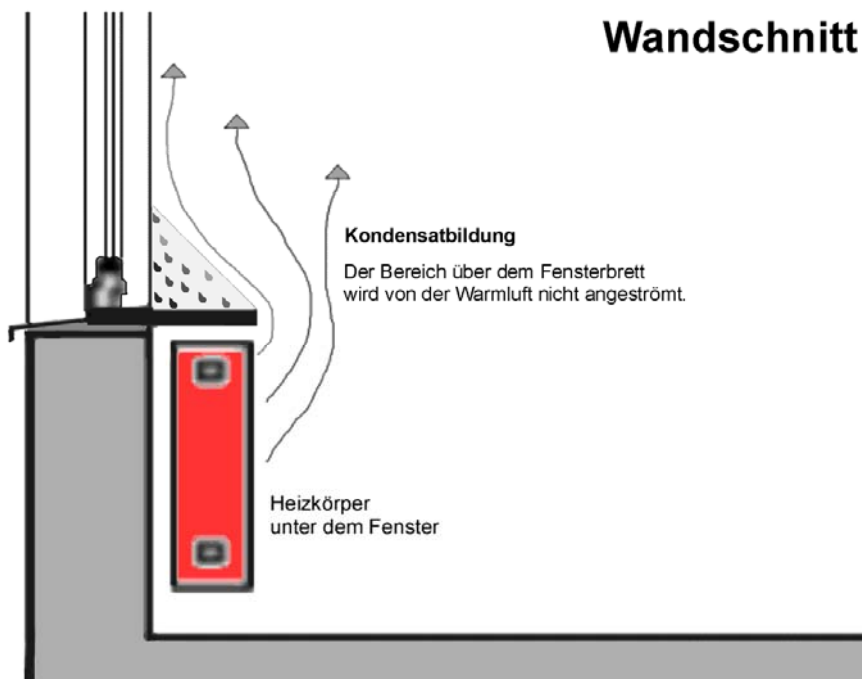


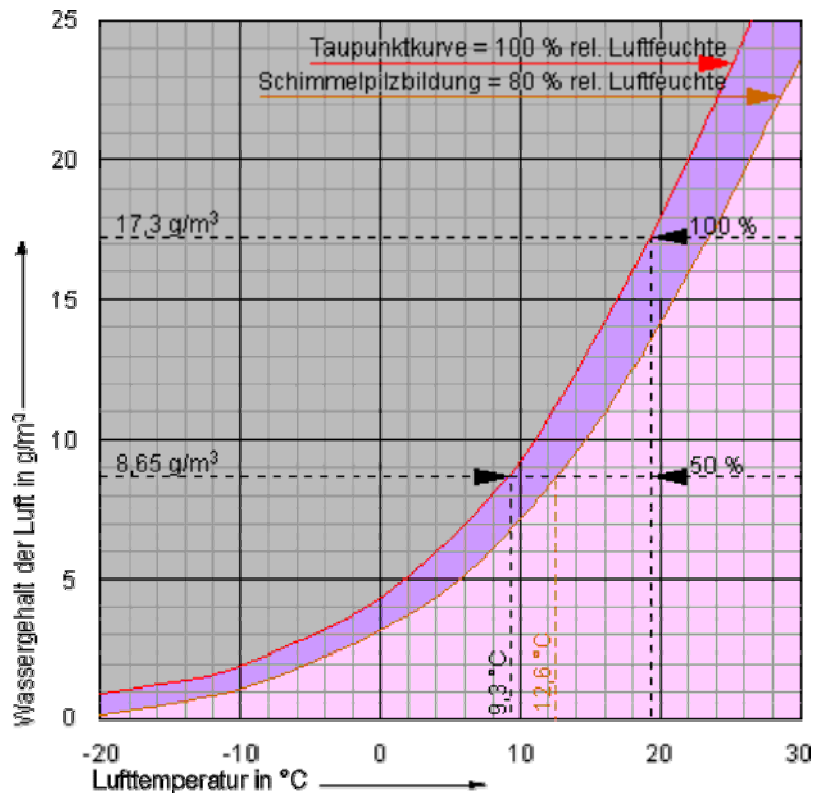
Abb. 2 Beispiel: Heizkörper unter dem Fensterbrett

Örtliche Feststellungen

Tauwasserausfall auf der Glasscheibe im unteren Fensterbereich (Höhe ca. 25 cm) und Schimmelpilzbildung auf der Silikondichtung am waagerechten unteren Scheibenrand.

Mindestoberflächentemperaturen

Taupunktcurve und Beginn von Schimmelpilzbildung im Kurvendiagramm



Quelle der Grafik: **Integratio® - Fensterhelfer**, <http://www.fensterberater.de/Page472N.htm>

Abb. 1 Mindestoberflächentemperaturen bei 20 °C Raumtemperatur und 50 % rel. LF nach DIN 4108

Schimmelpilze in Wohnräumen sind ein Indikator für zu hohe Luft- oder Materialfeuchte.

Als Ursache kommen daher in Betracht:

- Falsches Nutzerverhalten
 - zu geringe Heizleistung und/oder zu wenig Quer- bzw. Stoßlüftung
 - Entstehen von großen Feuchtigkeitsmengen, z.B. durch Duschen, Kochen, Wäschetrocknen, große Aquarien, viele und große Pflanzen, Luftbefeuchter, Zimmerbrunnen ...
- Baumängel (z.B. Undichtigkeit, Risse, Fehler in der Gebäudekonstruktion, Wärmebrücken.

Der Trocknungseffekt beim Lüften:

Außenluft	bei Erwärmung auf 20 °C
-10 °C, 80 % r.F.	9 % r.F.
0 °C, 80 % r.F.	21 % r.F.
+10 °C, 80 % r.F.	42 % r.F.

Im Winter ist der Trocknungseffekt größer als in der Übergangsjahreszeit, d.h. im Frühjahr und Herbst muss mehr gelüftet werden als im Winter!

Tabelle 1, Ermittlung der Klimadaten (Zusammenfassung)

Objekt:		10000 Berlin Musterstr. 5			Φ	θ
Wohnung:	Mustermann	Mieter	2 Pers. Haushalt		ausсен	ausсен
Lage:	4.OG links	VH			rel. LF.	Lufttemp.
Datum:	02.03.2006	10 – 11 Uhr			68 %	2° C
Nr.	Φ %	θ °C	θ °C	θ °C	min. Gew. %	max. Gew. %
Raum- bezeichnung	innen rel. LF	Raumluft- temperatur Mitte Raum	Schadensbereich Wand - Decke Oberfl. Temp	ungestörter Bereich Wand - Decke Oberflächen- Temp	Wand- feuchte (Putz)	Wand- feuchte (Putz)
Raum 1 Schlafzimmer	45	19,6	Raumecken 13,5 befallener Bereich	15 - 16 ungestörte Wand	0,7	0,7
Taupunkttemp.		7,4	4,3	3,6		
Raum 2 Bad	46	19,6	15,0 Fensterwand	17,0 ungestörte Wand	o. Befund	o. Befund
Taupunkttemp.		6,5	4,9	5,3		

Erläuterung:

Die gemessenen Raumklimadaten zeigen die an dem Tag der Ortsbegehung abgelesenen Parameter: relative Luftfeuchte, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur von Bauteilen. Aus diesen Werten lässt sich die Taupunkttemperatur ermitteln.

Der Unterschied zwischen der Raumlufttemperatur von 19,6 °C und der Oberflächentemperatur an der ungestörten Wand von i. M. 15,5 °C im Raum 1 beträgt ca. 4 °C. Aus der Temperaturdifferenz von 4 °C wird ersichtlich, dass die Wand – als schlechter und träger Wärmeleiter – auch am Tage nicht ausreichend erwärmt wird. Die vergleichsweise geringe relative Luftfeuchte von 45 % ist, so darf vermutet werden, auf die vor dem Ortstermin durchgeführte Stoßlüftung zurückzuführen. Das hat zur Folge, dass an den Schimmelpilzflächen kein Tauwasser (Kondensat) auftritt. Die gemessenen Putzfeuchtwerte mit 0,7 Gew. % (Skala von 0,3 – 3,5 Gew. %) belegen dies. Die Wandoberflächen sind als nahezu trocken zu bezeichnen.

Die gemessene Oberflächentemperatur in den oberen Raumecken – am Schimmelpilzbefall – von nur 13,5 °C zeigt, dass dort die Temperatur bei einer nächtlichen Absenkung der Heizung und der Feuchteproduktion durch die Bewohner ohne weiteres unter 12,6 °C sinken kann. Die Wachstumsvoraussetzung für Schimmelpilz ist damit gegeben.

Da eine einmalige Klimadatenerfassung zum Ortstermin allein nicht aussagekräftig ist und nur den Augenblick der Messungen widerspiegelt, können durch Rückschlüsse Erkenntnisse über den physikalischen Sachverhalt gewonnen werden.

Rückschlüsse:

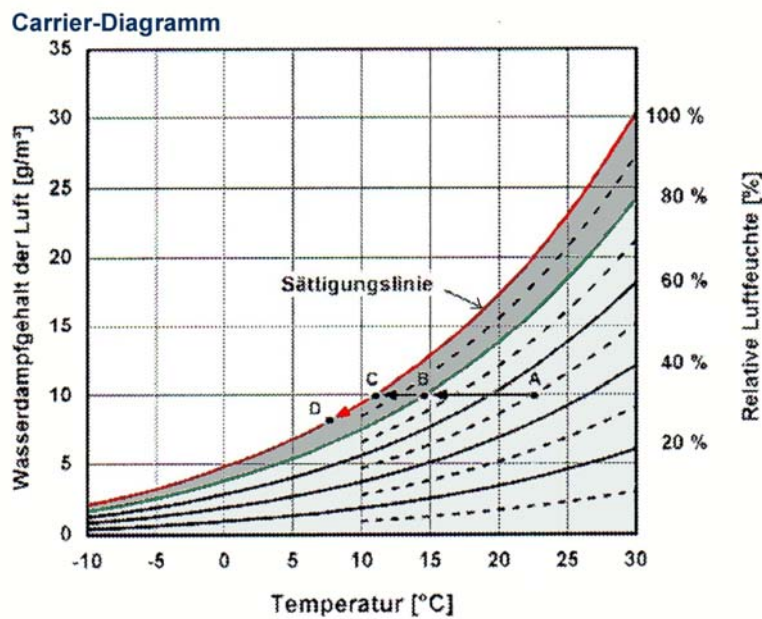
Nach den in der Gebäudeanamnese erhobenen Angaben über das Heiz- und Lüftungsverhalten in der Wohnung kann geschlossen werden, dass an Wochentagen tagsüber, während der Abwesenheit beider Bewohner (Zeitraum von 9 – 18.00 Uhr = etwa 9 Stunden), die Heizkörper über die Thermostatventile auf Stufe 2 gedrosselt werden und erst in den Abendstunden (geschätzter Zeitraum von 18 – 24.00 Uhr = etwa 6 Stunden) die Heizkörper auf eine höhere Stufe zwischen 4 – 5 gestellt werden. Vor der Schlafenszeit (geschätzter Zeitraum von 0 – 07.00 Uhr = etwa 7 Stunden) werden die Temperaturen wiederum auf Stufe 2 abgesenkt. Der geschätzte Zeitraum in dem die Raumtemperaturen abgesenkt werden, beträgt demnach 16 Stunden. Das bedeutet: Im Tageszyklus von 24 Stunden ist die Raumtemperatur in Zweidrittel der Zeit reduziert.

Physikalisch stellen sich folgende Bedingungen ein:

Tagsüber hat sich die Außenwand durch Drosseln der Heizung abgekühlt. Abends während der Aufheizphase benötigen die wärmespeichernden Außenwände aus Ziegelmauerwerk wegen ihrer Trägheit mehrere Stunden, bevor sie die notwendige Tauwasser vermeidende Oberflächentemperatur erreichen. Die durch die heimkehrenden Bewohner unmittelbar einsetzende Feuchtigkeitsproduktion (Kochen, Waschen, Duschen etc.) mit einer spontanen Erhöhung der relativen Luftfeuchte und damit auch der Taupunkttemperatur, steht dann in physikalisch ungünstiger Konstellation zur kühlen Oberflächentemperatur der Außenwände. Es kommt unmittelbar zur Oberflächenkondensation.

Durch das verzögerte Aufheizen der Außenwände - die Konvektorheizkörper heizen zunächst die Luft über Konvektion (Luftumwälzung) auf -, stellt sich erst nach 4 – 6 Stunden eine Erwärmung ein, die kein Tauwasser mehr abscheidet, wobei die von der Konvektion nur schwach angeströmten Raumecken einen noch längeren Zeitraum zur Tauwasser freien Erwärmung benötigen. Wenn also nach 6 Stunden die Heizkörper bereits wieder gedrosselt werden, wird den Wänden die Wärme schon wieder entzogen. Das bedeutet: der Zeitraum der Aufheizphase ist zu kurz, um kondensatfreie Oberflächentemperaturen an kritischen Stellen der Außenwand zu erreichen.

Tabelle 2, Taupunktberechnung mittels graphischer Darstellung



Wasserdampfgehalte der Luft in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte.

Die Taupunkttemperatur der Raumluft θ_s kann in Abhängigkeit von der Innenlufttemperatur θ_i und der relativen Luftfeuchte Φ des betrachteten Raumes aus dem Carrier-Diagramm (oder mit Hilfe der Tabelle A.4 aus DIN 4108 Teil 3) ermittelt werden. Tauwasser bzw. Schimmelpilzbildung kann nur verhindert werden, wenn die raumseitige Oberflächentemperatur θ_{si} größer als die Taupunkttemperatur θ_s der Luft ist.

Anwendung des Carrier-Diagramms

Beispiel: wenn in einem Raum bei niedrigen Außentemperaturen der Thermostat des Heizkörpers auf Stufe 2 eingestellt ist, erhält man etwa folgende Parameter:

- Raumlufttemperatur ca. 17 °C
- relative Luftfeuchte von 67 %

Es stellen sich ohne weitere Feuchtigkeitszufuhr folgende Oberflächentemperaturen ein:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| A. Relative Luftfeuchte von 50 % | ca. 22,5 °C (Punkt A) |
| B. Relative Luftfeuchte von 80 % | ca. 14,5 °C (Punkt B) |
| C. Relative Luftfeuchte von 100 % | ca. 11,0 °C (Punkt C) |
| D. Taupunkttemperatur | ca. 7,5 °C (Punkt D) |

Damit sind zumindest zeitweilig die Bedingungen für Schimmelpilzbildung erfüllt.

Tabelle 3, Berechnung des U-Werts am Bauteil: Außenwand

Beispiel: Mehrfamilienwohnhaus, Baujahr 1956, Wohnung *Mustermann*

Außenwände: 36,5 cm dickes einschaliges Mauerwerk aus Mauerziegeln MZ 150, Steinrohddichte $\rho = 1.200 \text{ kg/m}^3$, beidseitig verputzt. Wanddicke gesamt = 40 cm. λ -Wert: = 0,81, (lt. Pörschmann "Bautechnische Berechnungstabellen für Ingenieure")

Tabelle 2 – Außenwand, Raumecke –

Ermittlung der Wärmedurchgangswiderstände nach DIN 4108

Wandaufbau	d [m]	λ [W/mK]	R = d/ λ	
R_{si} = Wärmeübergangswiderstand innen		0,25	0,250	m ² K/W
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,70	0,021	m ² K/W
MZ 150	0,365	0,81	0,451	m ² K/W
Außenputz (Kalkzementputz)	0,020	0,87	0,023	m ² K/W
R_{sa} = Wärmeübergangswiderstand außen		0,04	0,040	m ² K/W
R_K = Wärmedurchgangswiderstand			0,79	m ² K/W
k_w = U-Wert			1,27	W/m ² K

Soll im Mittel: $R_{kw} \geq 0,55 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ | Soll im Mittel: $k_w \leq 1,39 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Ist-Wert: $R_{kw} = 0,79 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ | Ist-Wert: $k_w = 1,27 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Der k_w Ist-Wert (heute U-Wert) von 1,27 W/m²·K erfüllt die Anforderungen nach DIN 4108 und der Wärmeschutzverordnung 1 (WSchV, galt ab 1977)

Das Berechnungsergebnis zeigt aber auch, dass der nach heutigen Maßstäben einzuhaltende Mindestwärmeschutz nicht erreicht wird.

Ermittlung der Oberflächentemperatur zur Vermeidung von Tauwasserbildung nach DIN 4108 Teil 2 (neu)

– **Außenwand** –

$$\theta_{oi} = \theta_{Li} - R_{si} \cdot (\theta_{Li} - \theta_{La}) / R_K$$

$$\theta_{oi} = 20 - 0,25 \cdot [20 - (-5)] / 0,67 = \mathbf{15,86 \text{ }^\circ\text{C}} (\geq \theta_{oi \text{ min}} 12,6 \text{ }^\circ\text{C})$$

Mit den in DIN 4108 Teil 2 (neu) getroffenen Berechnungsannahmen ($\Phi_i = 50 \%$, $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$, $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) und unter Berücksichtigung der Annahme, dass die Voraussetzung für Schimmelpilzbildung auf Bauteilflächen bei einer relativen Feuchte der angrenzenden Raumluft Φ_{si} bereits ab 80 % - und nicht erst bei sichtbarem Tauwasser - gegeben ist, folgt für den zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten $U \leq 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ und für den erforderlichen Wärmedurchlasswiderstand $R \geq 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Die Oberflächentemperatur an den Außenwänden soll an jeder Stelle $\theta_{oi \text{ min}} = 12,6 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht unterschreiten. Die relative Luftfeuchte Φ_{si} sollte möglichst 60 % nicht überschreiten.

Da mit steigenden Raumtemperaturen (Standard: 20 – 22 °C) die relative Luftfeuchte sinkt (s. Carrier-Diagramm), stellt sich insbesondere in der kalten Jahreszeit bei ausreichender Fensterlüftung und angemessener Beheizung ein gesundes und schimmelfreies Raumklima ein.

2. Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

In der Wohnung *Mustermann* haben sich in 2 Räumen an unterschiedlichen Stellen und in unterschiedlicher Ausbreitung sichtbare Schimmelpilzkulturen gebildet. Schimmelpilzwachstum im Innenraum stellt grundsätzlich ein hygienisches Problem dar, das aus Vorsorgegründen nicht toleriert werden kann. Auch geringfügige Schimmelpilzbildung kann zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

Der Schimmelpilzbefall in der Wohnung *Mustermann* beruht im wesentlichen auf:

1. den dichtschießenden isolierverglasten Fenstern, die eine intensive Lüftung verlangen,
2. unangepasstem Nutzerverhalten bezüglich Heizen und Lüften,
3. und Beeinträchtigung der Luftzirkulation, durch ungünstige Möblierung.

Anzeichen für Baumängel, wie Feuchtigkeitzufuhr von außen wurden nicht festgestellt.

Der geringere Wärmeschutz von Altbauten im Vergleich zu heute errichteten Gebäuden stellt keinen bautechnischen Mangel dar. Entscheidend ist allein der gebrauchsfähige Zustand der Wohnung, ohne dass durch den normalen Wohngebrauch Feuchtigkeitsschäden entstehen.

Die Messergebnisse der Klimadaten [Tabelle 3] haben ergeben, dass unter Berücksichtigung der Angaben der Bewohner bei Absenkung der Raumlufttemperatur die vom Schimmelpilz befallenen Raumecken nicht ausreichend erwärmt werden. Die Anwendung des Carrier-Diagramms [Tabelle 2] macht den Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und der relativen Luftfeuchte zu den Bauteiloberflächentemperaturen deutlich und zeigt, dass an kühlen Bauteiloberflächen die relative Luftfeuchte auf kritische Werte bis zur Sättigungsgrenze ansteigen kann.

Die Berechnungen [Tabelle 3] haben den Nachweis erbracht, dass das Wohngebäude aus den 50-er Jahren den Anforderungen des Wärmeschutzes nach der DIN 4108 (alte Fassung) erfüllt. Die Berechnung der Mindestoberflächentemperatur zeigt, dass auch nach den heute geltenden Regeln des Wärmeschutzes Außenwände nicht zwangsläufig von Schimmel befallen werden müssen, wenn entsprechende Vorkehrungen durch die Bewohner getroffen werden.

Bei Gebäuden ohne den heute üblichen Vollwärmeschutz (WDVS = Wärmedämm-Verbundsystem) an Außenwänden ist es daher besonders wichtig, die Räume ausreichend zu beheizen und zu belüften.

Zur Verbesserung des Wärmeschutzes und zur Energieeinsparung wurden 1999 dicht schließender Fenster eingebaut. Im Gegensatz zu Fenstern älterer Bauart unterbleibt der unkontrollierte Fugenluftwechsel bei diffusionsdichten Fenstern. Somit wird auch die Wohnfeuchtigkeit nicht mehr automatisch hinausgelüftet. Passen die Bewohner ihre

Lüftungsgewohnheiten nicht dieser neuen Situation an, steigt die Luftfeuchtigkeit in der Wohnung während der kalten Jahreszeit dauerhaft über die zulässigen 60 - 65% relativer Luftfeuchte.

3. Empfehlungen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall:

Die Schimmelpilzbildung kann dauerhaft und wirksam verhindert werden, wenn die Bewohner auch während ihrer Abwesenheit tagsüber die durchschnittliche Raumlufttemperatur auf mindestens 19 °C anheben und regelmäßige situationsgerechte Stoßlüftungen vornehmen, wie in der Anlage zum Mietvertrag ausführlich beschrieben ist.

Um die Luftzirkulation an der Außenwand der Räume zu verbessern, sollten Möbel sicherheitshalber 5 - 10 cm Abstand zur Außenwand haben. Die Fensterbank sollte möglichst von Gegenständen freigehalten werden. Es ist auf ausreichende Beheizung und Belüftung zu achten.

Zur besseren Beurteilung und Kontrolle der Raumklimawerte ist der Einsatz von Thermo- und Hygrometern (handelsübliche Geräte reichen völlig aus) zu empfehlen.

Bei längerer Abwesenheit der Bewohner sollten nach dem Lüften die Türen zu allen Räumen geöffnet werden, um Wasserdampfkonzentrationen in einzelnen Räumen zu vermeiden und die Luftfeuchtigkeit gleichmäßig auf alle Räume zu verteilen.

Verwendete Messgeräte

Putzfeuchte:	<i>GANN, Hydromette Compact</i>
Oberflächentemperaturen:	<i>Raytek, MiniTemp</i>
Raumlufttemperatur und Relative Luftfeuchte:	<i>Thermo/Hygro H560 DewPoint Pro</i>

Fotos vom Ortstermin

Aus datenschutzrechtlichen Gründen können keine Fotos veröffentlicht werden.

4. Literatur, Normen und Regelwerk

Literatur

Gunter Hankammer, Wolfgang Lorenz

Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden

Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG,
Köln 2003

Wolfgang Lorenz, Gunter Hankammer, Karl Lassl

Sanierung von Feuchte- und Schimmelpilzschäden

Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG,
Köln 2005

Lutz/Jenisch/Klopfer/Freymuth/Krampf/Petzold

Lehrbuch der Bauphysik, Stuttgart, Teubner, 1997

Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und

Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen

Umweltbundesamt Berlin 2002

Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmel-

pilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilzsanierungs-

Leitfaden“) Umweltbundesamt Dessau 2005

*Neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Schimmelpilzen
und Stand der Normenbearbeitung.*

Klaus Sedlbauer, Kurt Kießl

Tagungsbeitrag für die 2. Weimarer Bauphysiktag der Bauhaus-
Universität Weimar, 29.-30. 10. 2002

Krus, M., Holm, A., Sedlbauer, K., Kainz, E.

*Mindestlüftung zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in
Ecken – Rechnerische Betrachtung mit dem Raummodell.*

WTA-Schriftenreihe Heft 27 „Bauen – Wohnen – Gesundheit“, S.
99 - 114. WTA-Publications 2005, München.

Führer G., *Schimmelpilze: Oft unerkannt und meistens unterschätzt,*
Gemündener Bautage 2004

Sedlbauer, K., *Was alles so blüht an und in Gebäuden*, Fraunhofer-
Institut für Bauphysik,
IBP Konferenzbeiträge 2003

Cziesielski E., *Entstehen Schimmelpilze wirklich durch die
Instandsetzung von Altbausubstanz?*

Welche Rolle spielt der Einbau neuer Fenster?

Skript zum IHK-Seminar für Bauschadensachverständige,
Berlin 2002

Bautechnisches Regelwerk

DIN 18195	Feuchtigkeitsschutz
DIN 4108	Wärmeschutz im Hochbau

Berlin, im März 2006

Klaus Roggel

(Architekt und Sachverständiger für Gebäudeschäden)

