

# AUSWIRKUNGEN EINER TEMPERATUR-ABSENKUNG AUF HYGIENISCHE BEDINGUNGEN IM RAUM

## Bauzentrum Web-Forum: Schimmel vorbeugen – auch bei niedrigerer Raumtemperatur

Hartwig Künzel  
Fraunhofer IBP, Holzkirchen

### Inhalt

- Einleitung
- Energieeinsparung durch niedrige Temperaturen
- Raumklimabedingungen in Wohnungen
- Beurteilung des Schimmelrisikos
- Schlussfolgerungen und Lösungsmöglichkeiten

sen bauen



© Fraunhofer IBP

Fraunhofer  
IBP

## Einleitung – Fraunhofer IBP

Fraunhofer Institut für Bauphysik – Freilandversuchsstelle in Holzkirchen

Gründung 1951



© Fraunhofer IBP

2001



© Fraunhofer IBP

heute



© Fraunhofer IBP



© Fraunhofer IBP

70 Jahre  
Beobachtung des  
hygrothermischen  
Verhaltens und der  
Dauerhaftigkeit von  
Materialien und  
Konstruktionen

© Fraunhofer IBP

Fraunhofer  
IBP

## Einleitung – Abteilung Hygrothermik

Analyse, Prognose und Beurteilung der Auswirkungen von **Wärme- und Feuchtetransportvorgängen** in Gebäuden, Bauteilen und Baustoffen durch, Labor-, Freiland-, Objektuntersuchungen und numerische Simulation



© Fraunhofer IBP

3

## Energieeinsparpotential durch Raumtemperaturabsenkung

### Berechnung des Energiebedarf eines Gebäudes

Ausschlaggebend sind dabei:

- ❑ Wärmedämmung, Verglasungseigenschaften, Anlagentechnik, Nutzung
- ❑ das standortabhängige Außenklima – (jährliche Klimaschwankungen ändern den Verbrauch)
- ❑ Die mittlere Raumtemperatur – normalerweise 20°C

Unsicherheiten sind dabei:

- ❑ Nutzerverhalten (vor allem Lüftung), bei MFH auch Verhalten der anderen Bewohner
- ❑ Gebäudeeigenschaften: Massiv-/Leichtbau, Dämmstandard, Effizienz der Heizanlage
- ❑ Erhöhter Lüftungsbedarf aus hygienischen Gründen

Geschätzt wird eine Einsparmöglichkeit von ca. **8% bis 15%** pro 1°C (K) Temperaturabsenkung bzw. Mehrverbrauch bei Steigerung der Raumtemperatur

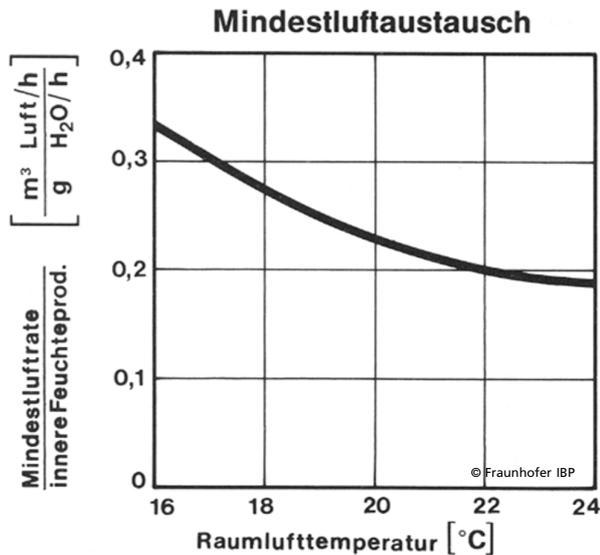
Eine Absenkung der Raumtemperatur von  $\geq 22^\circ\text{C}$  auf **20°C** ist i.d.R. problemlos möglich **aber** was bringt eine Absenkung auf **18°C** oder darunter mit sich?

© Fraunhofer IBP

4

# Energieeinsparpotential durch Raumtemperaturabsenkung

## Zusammenhang zwischen erforderlicher Lüftungsrate und Raumlufttemperatur



Erhorn/Gertis 1986: Mindestaußenlüftungsrate je produziertes Gramm Wasserdampf pro Stunde und m³ Raumvolumen in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur.

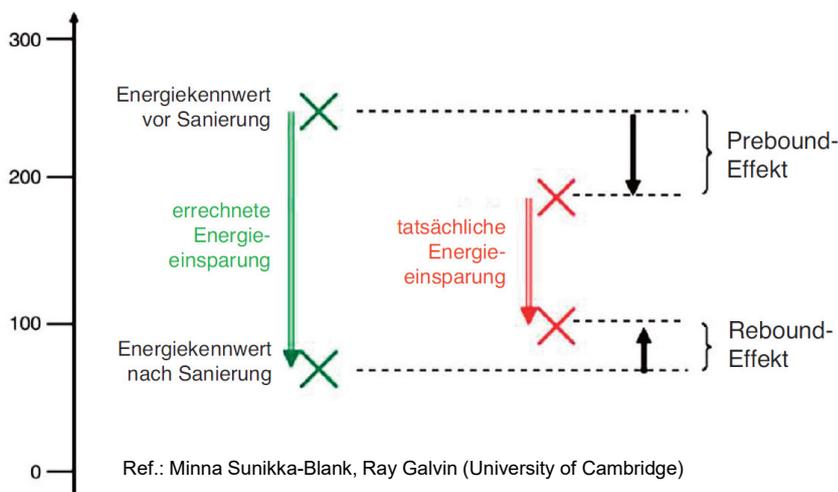
Die angegebene Kurve gilt für die Übergangsjahreszeit

**Fazit:** Bei niedriger Raumtemperatur muss die Lüftungsrate erhöht oder die Feuchteproduktion reduziert werden um hygienische Verhältnisse sicher zu stellen.

# Energieeinsparpotential durch Raumtemperaturabsenkung

## Erfahrungen aus der Praxis mit der Sanierung von Gebäuden

Heizenergieverbrauch kWh/m²a

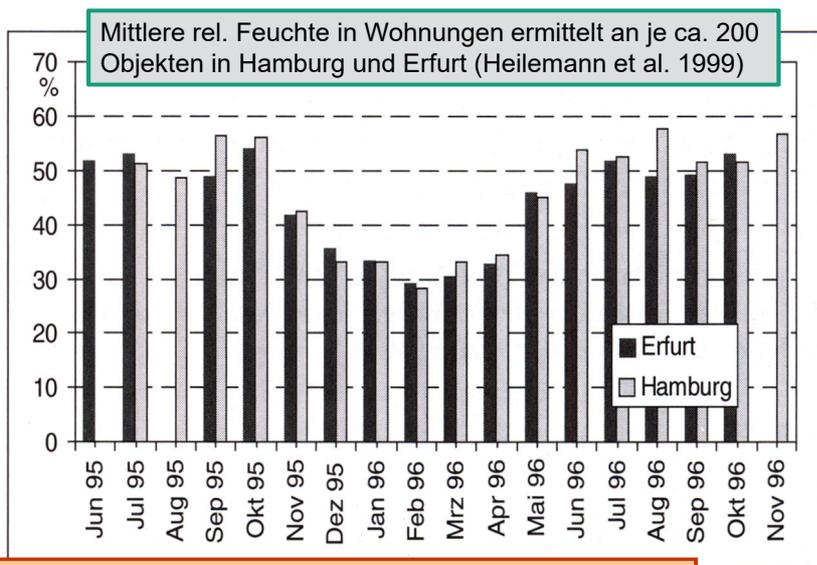
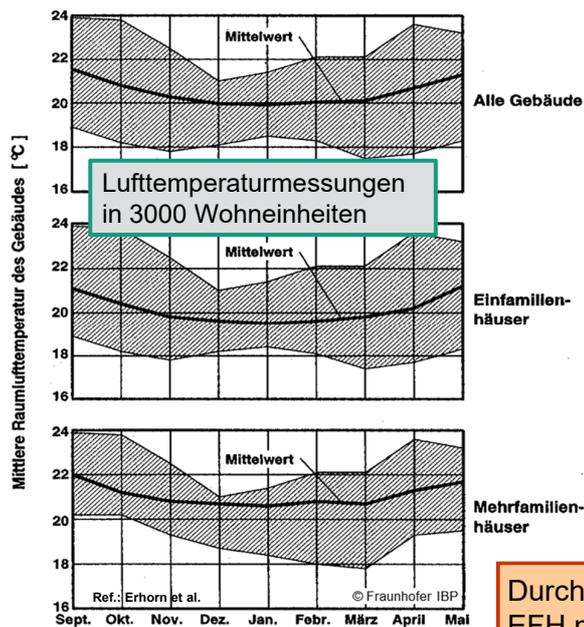


Die Einsparmöglichkeit durch energetische Sanierung wird wegen des Prebound-Effekts (**Teilbeheizung**) und des Rebound-Effekts (**höhere Temperatur und Raumluftqualität**) überschätzt

### These:

Ein Runterregeln der Raumtemperatur im Altbau spart wahrscheinlich weniger Heizenergie ein, als allgemein erwartet wird

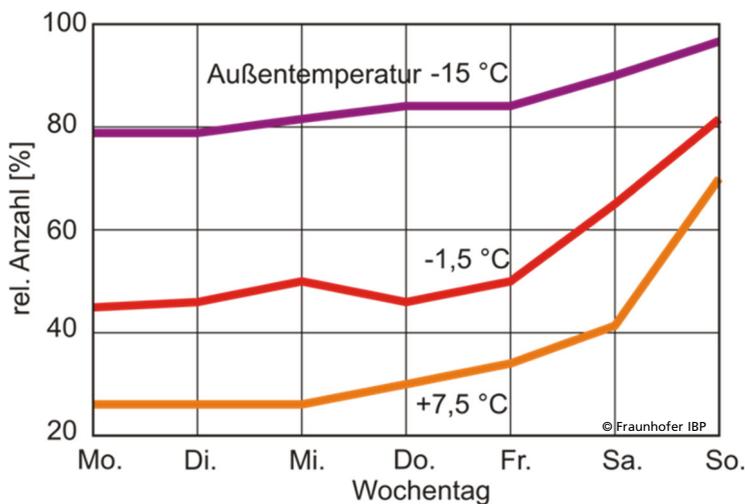
# Raumklimabedingungen in Wohnungen



Durchschnittliche Raumluftverhältnisse unproblematisch, EFH meist kühler (wegen gering beheizter Räume) als MFH

# Raumklimabedingungen in Wohnungen – früher

Anteil der beheizten Wohnräume abhängig von Außentemperatur und Wochentag vor 60 Jahren



7 (1979) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Repräsentativ-Umfrage in 2000 Haushalten (Dez. 1978)

H. Künzel

Repräsentativumfrage über das Heizen und Lüften in Wohnungen

Die statistische Auswertung der gemessenen Raumlufttemperaturen ergab folgende häufigsten Werte mit Standardabweichung:

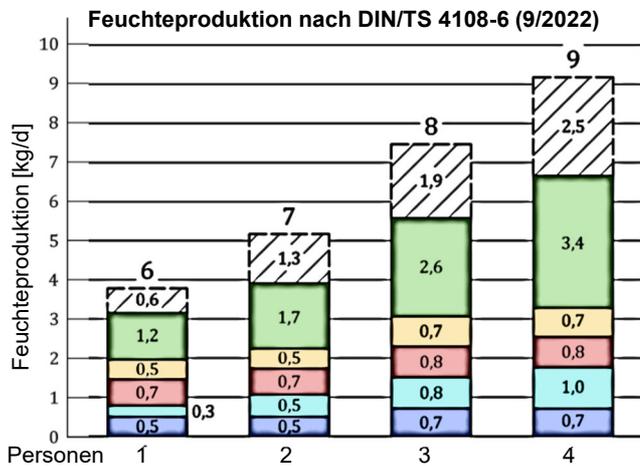
Wohnräume: 22° C ± 2 K

Schlafräume: 15,5° C ± 3 K

## Raumklimabedingungen in Wohnungen – Feuchteproduktion früher/heute

Haushaltsgröße	Personenzahl	Feuchteproduktion
ohne Kinder	2	8 kg/d
mit einem Kind	3	12 kg/d
mit zwei Kindern	4	14 kg/d
mit drei und mehr Kindern	≥ 5	15 kg/d

IEA Annex 14 Auswertung 1991



### Fazit:

Früher war die Feuchteproduktion in Wohnungen etwas höher. Heute liegt sie im Mittel bei etwa: **1 g/(m³h)**

- Wäsche aufhängen
- Feuchteabgabe Menschen
- Feuchteabgabe Pflanzen
- Koch und Spülvorgänge
- Bad und Körperpflege
- Sonstiges

## Raumklimabedingungen in Wohnungen – Lüftung durch Fenster öffnen

### Gebäudemonitoring und Datenanalyse des Fraunhofer IBP

95 Wohneinheiten in Deutschland aus verschiedenen Forschungsprojekten

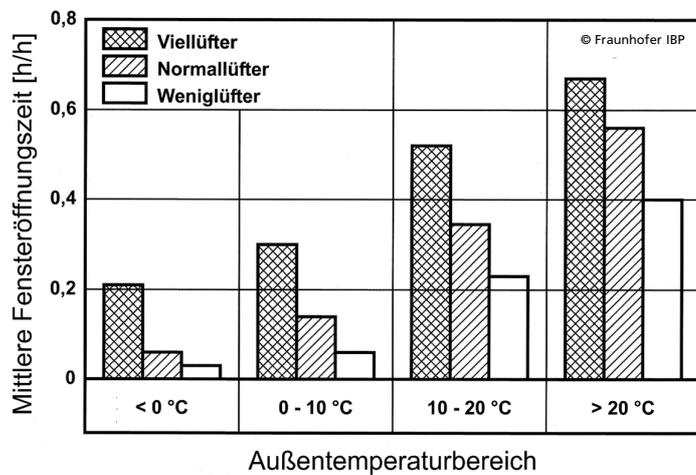
Messdauer 2 bis 3,5 Jahre

- stündliche Messwerte für
  - Außenklima
  - Raumklima
  - Fensterstatus (offen / zu)
- bauliche Information:
  - Raumart
  - Lüftungssystem
  - Gebäudedichtheit

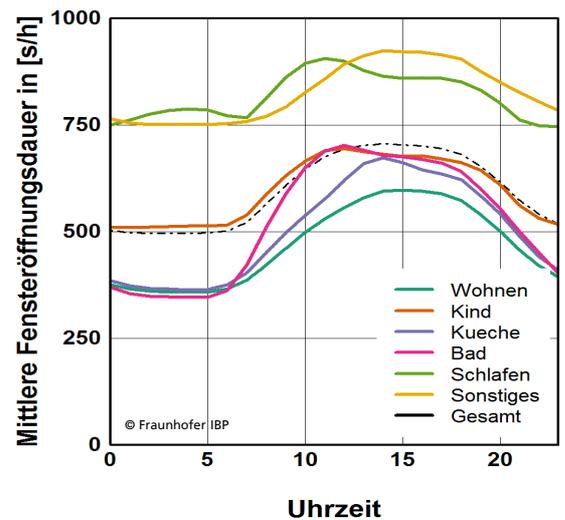


# Raumklimabedingungen in Wohnungen – Lüftung durch Fenster öffnen

## Temperatur- und tageszeitabhängiges Lüftungsverhalten nach Kategorie



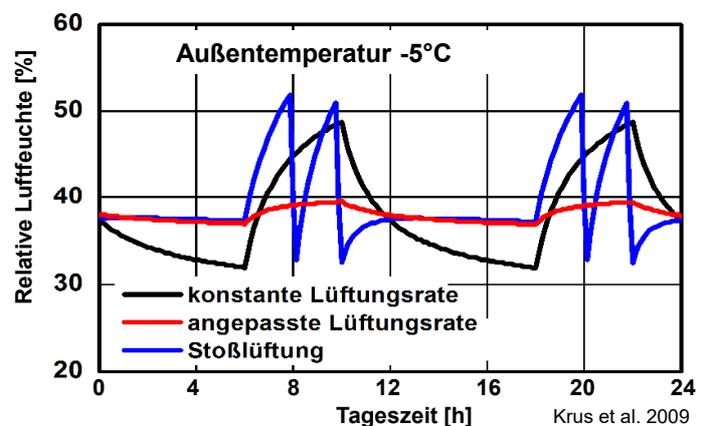
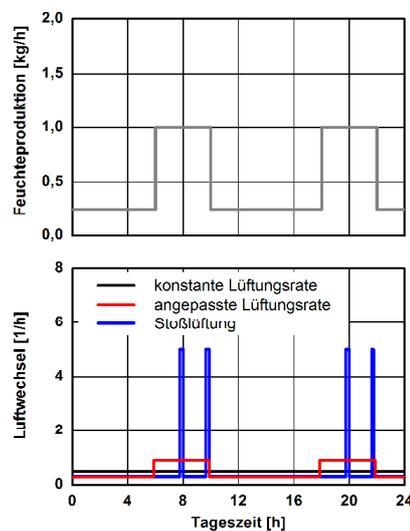
Bei warmem Wetter wird mehr gelüftet



Fenster in Schlafräumen sind eher kontinuierlich geöffnet. Fensteröffnung in Wohnräumen zeigt klares Tagesprofil

# Raumklimabedingungen in Wohnungen – Lüftung durch Fenster öffnen

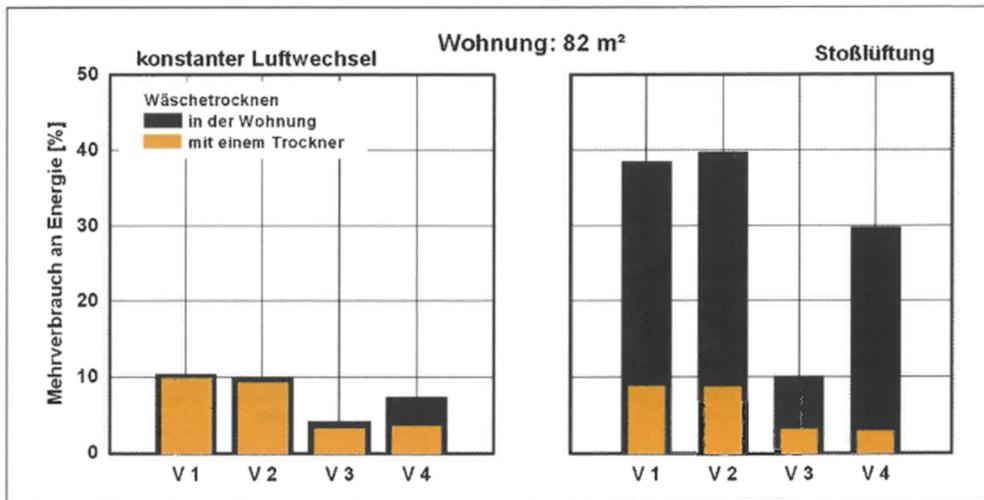
## Auswirkung unterschiedlicher Lüftungsstrategien (Simulation)



2x kurzes **Stoßlüftung** während der erhöhten Feuchteproduktion im Vergleich zur konstanten und angepassten mechanischen Lüftung (bzw. zur Spaltlüftung) bei gleichen Gesamtlüftungsraten

# Raumklimabedingungen in Wohnungen – Lüftung durch Fenster öffnen

## Auswirkung unterschiedlicher Lüftungsstrategien (Simulation)



V1: Wände mit WDVS  
V2: Dämmende Ziegelwände  
V3: Altbau  
V4: Altbau mit neuen Fenstern  
Krus et al. 2009

Heizenergie-Mehrverbrauch durch Stoßlüften (rechts) im Vergleich zu einer konstanten Lüftungsrate (links) bei einer kontinuierlichen Feuchteproduktion (hier Wäsche trocknen im Raum)

**Stoßlüftung** ist eine effiziente Methode zum Austausch verbrauchter Luft. Für die Beseitigung der Feuchte im Raum ist sie weniger effizient und erhöht den Heizenergiebedarf im Vergleich zur Konstant-Lüftung

# Raumklimabedingungen in Wohnungen

## Schlussfolgerungen zu den Raumklimabedingungen in Deutschland

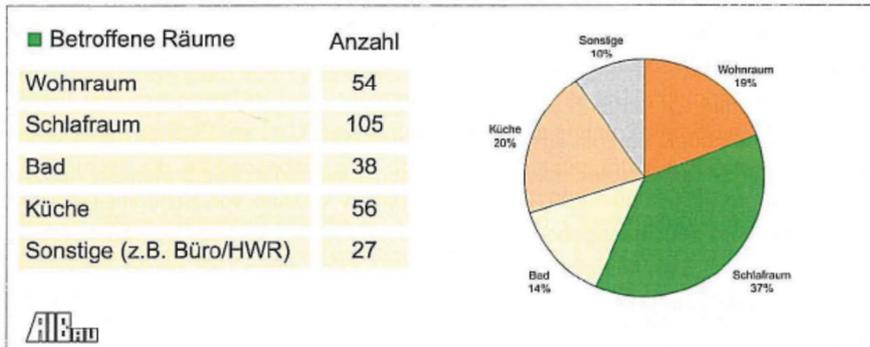
- Die meisten Wohnräume werden heute im Winter relativ gleichmäßig beheizt und die Raumlufffeuchte bleibt meist im unkritischen Bereich (Feuchtepufferung günstig)
- Das Fensteröffnen richtet sich oft nicht nach den Erfordernissen. Das oft propagierte Stoßlüften hilft bei der Feuchteregulierung nur begrenzt
- Früher wurde nur bei Bedarf meist mit Einzelöfen geheizt, Feuchteprobleme traten nicht auf oder wurden ignoriert. Positiv wirkten sich folgende Faktoren auf:
  - hoher Luftwechsel durch undichte Fenster und Einzelofenkaminabzug
  - hoher Strahlungswärmeanteil heizt die Wände stärker als die Raumluff
  - regelmäßiges Kalken der Wände wegen Verschmutzung durch Ruß und Insekten
- **Frage: welche Auswirkungen hat eine Raumtemperaturabsenkung unter heutigen Verhältnissen**

# Beurteilung des Schimmelrisikos

## Untersuchungen zum Schimmelpilzbefall in unterschiedlichen Räumen

Quelle: Sedlbauer

	Wohnen	Schlafen	Küche	Bad	Kind
Häufigkeit von Schimmelpilzwachstum	16 %	41 %	8 %	8 %	26 %



Schlafräume scheinen am stärksten von Schimmelpilzwachstum betroffen zu sein. Das deutet ebenfalls auf einen Einfluss der Beheizung hin.

Tabelle 8: Verteilung der Schimmelpilzschäden auf die Räume (Mehrfachnennungen möglich, 280 Angaben)

# Beurteilung des Schimmelrisikos

## Betroffene Bereiche



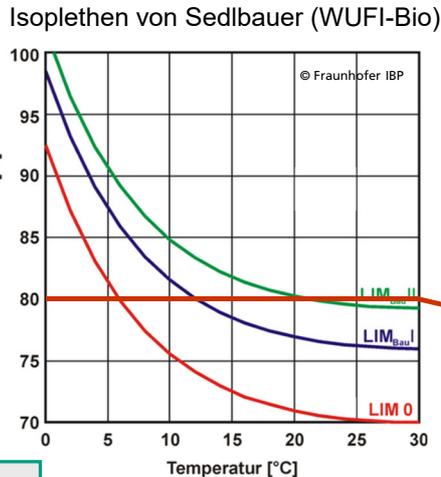
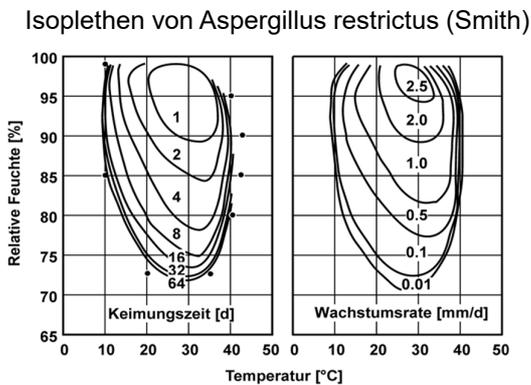
Laborversuche zur Bestimmung der Schimmelpilzwachstumsgrenzen

Geometrische und materialbedingte WB



# Beurteilung des Schimmelrisikos

## Vermeidung von Hygieneproblemen



### Substratgruppen

II biologisch kaum verwertbar (z.B. min. Baustoffe)

I biologisch gut verwertbar (z.B. Tapeten, GK)

0 optimales Substrat (biologische Vollmedien)

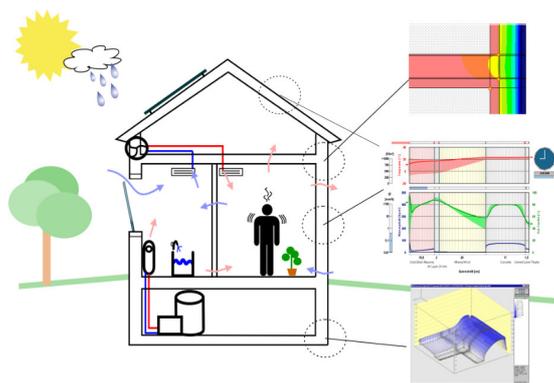
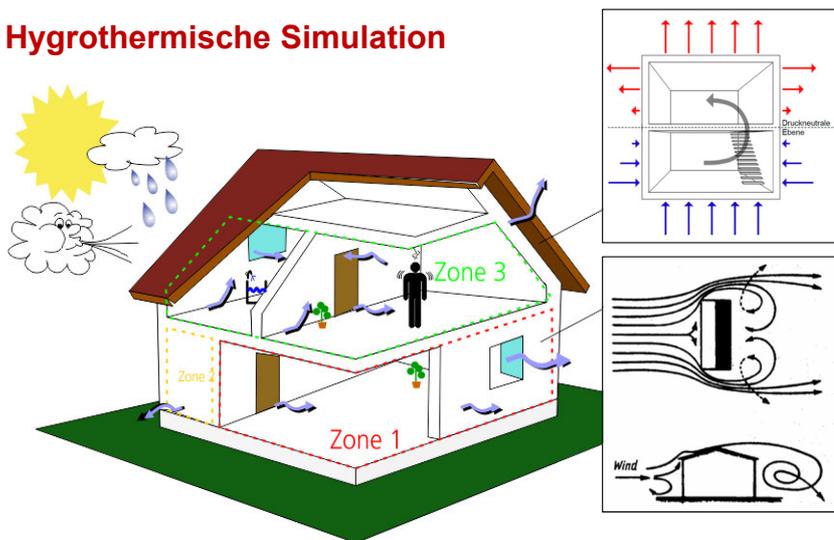
Feuchtegrenzwert gilt für die Oberfläche!  
Raumluftfeuchte muss deutlich kleiner sein

Grenzwert nach DIN 4108-2

Mithilfe dieser Ansätze kann das Schimmelrisiko berechnet werden

# Beurteilung des Schimmelrisikos

## Hygrothermische Simulation



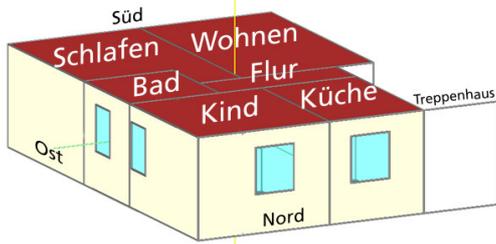
Model zur Berechnung interzonaler Luftströmungen durch Wind und therm. Auftrieb

### WUFI® Plus

Experimentell mehrfach validiertes hygrothermische Gebäudesimulation mit Luftaustausch zwischen einzelnen Zonen und hygrothermischer Interaktion zwischen Raumluft und Gebäudehülle

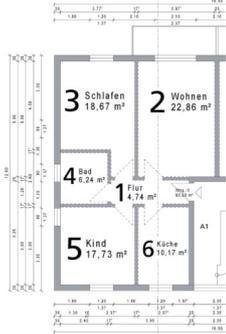
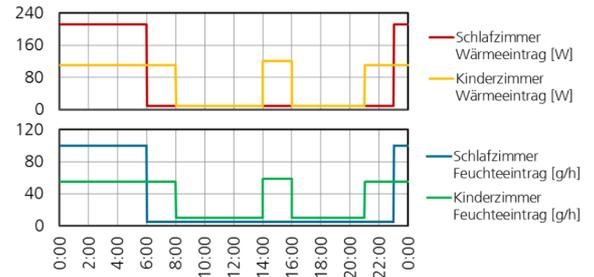
# Beurteilung des Schimmelrisikos

## Beispiel: Wohnung in einem MFH



Innere Wärme-, Feuchte-, CO<sub>2</sub>-Quellen

Last-Zeitprofile für jeden Raum



Zone Nr.	Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Netto-Volumen [m <sup>3</sup> ]	Min. Auslegungstemperatur [°C]
1	Flur	4,7	11,9	20
2	Wohnen	22,9	57,6	20
3	Schlafen	18,7	47,1	<b>unbeheizt</b>
4	Bad	6,2	15,7	20
5	Kind	17,7	44,6	<b>20</b>
6	Küche	10,7	32,0	20
A1	Hausflur / Treppenhaus	-	-	-
Summe		81 m <sup>2</sup>	208 m <sup>3</sup>	-

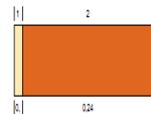
3-Personen-Haushalt  
 Wärme: 8,3 kWh/Tag  
 Feuchte: 7,3 kg/Tag  
 CO<sub>2</sub>: 2,3 kg/Tag

# Beurteilung des Schimmelrisikos

## Berechnete Varianten

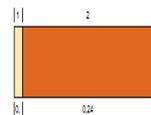
### Variante 1: unsaniert

- Fenster (Fugendurchlässigkeit nicht geprüft)  $U_w = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$   
gew.  $2,00 \text{ m}^3/\text{h m daPa}^{2/3}$
- Außenwand  $U = 1,53 \text{ W/m}^2\text{K}$



### Variante 2: neue Fenster

- Fenster (Fugendurchlässigkeit Klasse 3)  $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$   
gew.  $0,31 \text{ m}^3/\text{h m daPa}^{2/3}$
- Außenwand *ungedämmt*  $U = 1,53 \text{ W/m}^2\text{K}$



### Variante 3: neue Fenster und Außendämmung

- Fenster (Fugendurchlässigkeit Klasse 3)  $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$   
gew.  $0,31 \text{ m}^3/\text{h m daPa}^{2/3}$
- Außenwand (+ 14 cm Dämmung)  $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

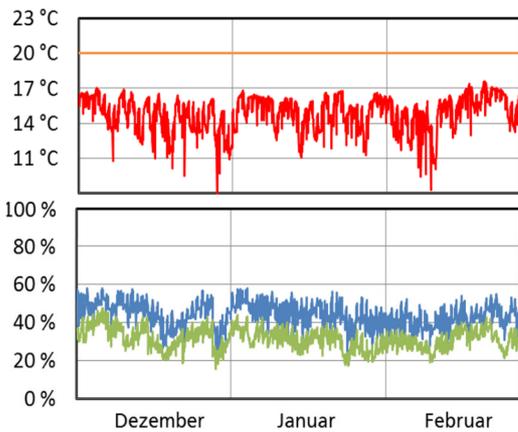


Luftwechsel wird simuliert  
 Sämtliche Gebäudebauteile (Außen-Innenwände, Fenster) sind luftdurchlässig und werden entsprechend berücksichtigt  
 Durchströmungseigenschaften gewählt für eine projektierte Luftdichtheit von:  
 Unsaniert  $n_{50} = 6,5 \text{ h}^{-1}$   
 Saniert  $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$   
 Alle Fenster werden für 5 Min um 8.00 und 20.00 Uhr geöffnet (Stoßlüftung)

# Beurteilung des Schimmelrisikos

## Simulationsergebnisse: Raumluftbedingungen Dez. – Feb.

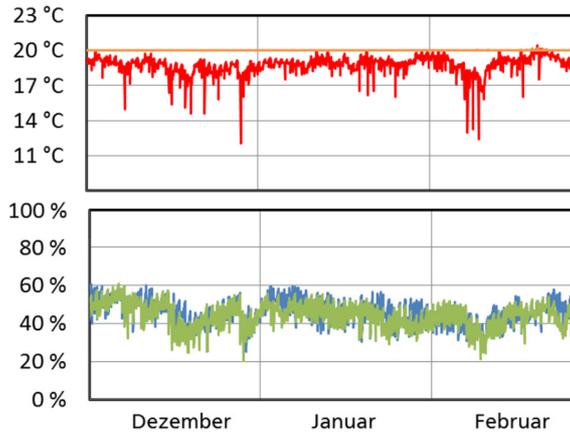
### Variante 1: unsaniert



Temperatur  
 — unbeheizt (Ø 15°C)  
 — beheizt (Ø 20°C)

Luftfeuchte  
 — unbeheizt (Ø 44 %)  
 — beheizt (Ø 32 %)

### Variante 3: gedämmt und neue Fenster



Temperatur  
 — unbeheizt (Ø 19°C)  
 — beheizt (Ø 20°C)

Luftfeuchte  
 — unbeheizt (Ø 46 %)  
 — beheizt (Ø 45 %)

**Raumklima, Heizwärmebedarf, Luftwechsel**  
 (Jahres/Periodenmittel aller Zonen)

**Variante 1:** 20°C / 52%  
 Winter: 19°C / 34%  
 HWB: 193 kWh/(m²a)  
 $n_{\varnothing} = 0,61$  1/h

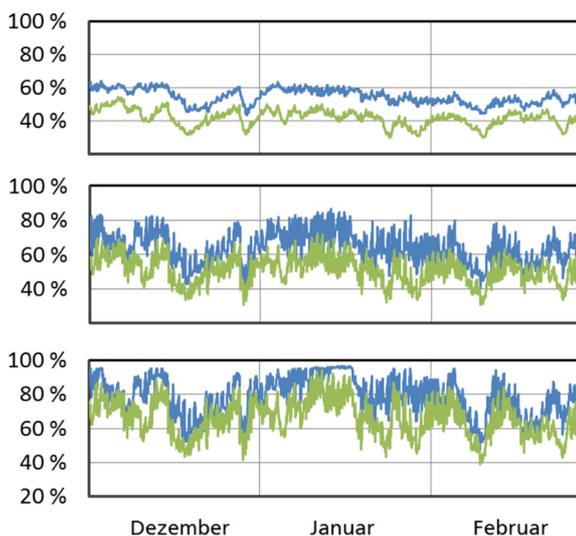
**Variante 2:** 20°C / 62%  
 Winter: 19°C / 45%  
 HWB: 146 kWh/(m²a)  
 $n_{\varnothing} = 0,32$  1/h

**Variante 3:** 23°C / 53%  
 Winter: 20°C / 42%  
 HWB: 41 kWh/(m²a)  
 $n_{\varnothing} = 0,33$  1/h

## Simulationsergebnisse: Oberflächenbedingungen / Schimmelpilzrisiko



### Variante 1: unsaniert

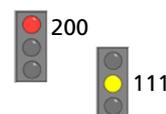
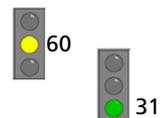
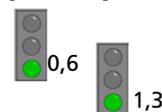


**Wandoberfläche**  
 Rsi = 0,13  
 — unbeheizt Ø 11°C | 55 %  
 — beheizt Ø 15°C | 42 %

**In der Raumecke**  
 Rsi = 0,25  
 — unbeheizt Ø 9°C | 64 %  
 — beheizt Ø 12°C | 51 %

**Hinter dem Schrank**  
 Rsi = 0,5  
 — unbeheizt Ø 6°C | 79 %  
 — beheizt Ø 9°C | 66 %

Wachstumsrate [mm/Jahr]



unbeheizt / beheizt

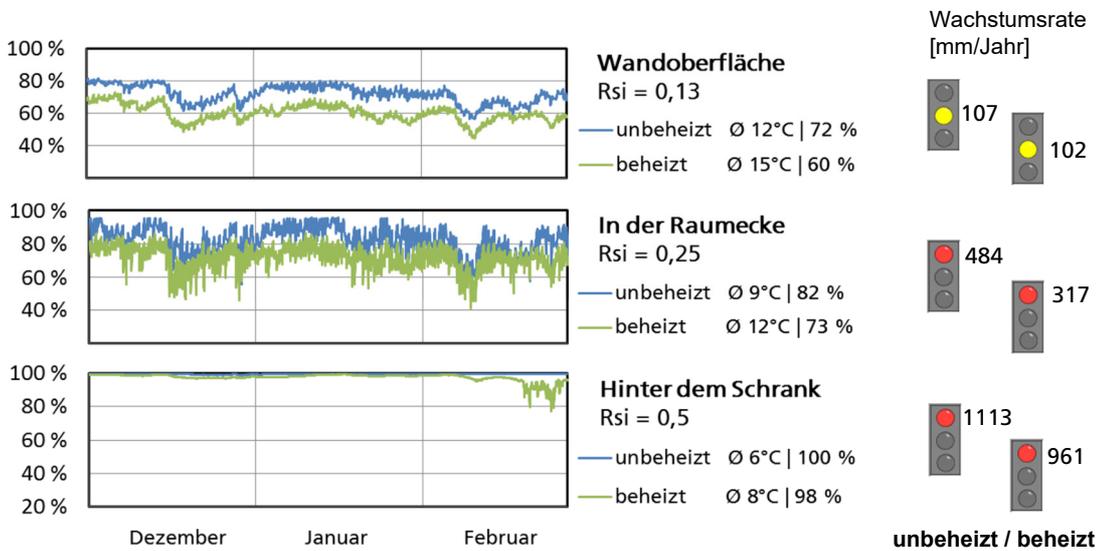
Relativ unkritische Verhältnisse außer im Schlafzimmer hinter dem Schrank

# Beurteilung des Schimmelrisikos

**Simulationsergebnisse:** Oberflächenbedingungen / Schimmelpilzrisiko



## Variante 2: unsaniert mit neuen Fenstern



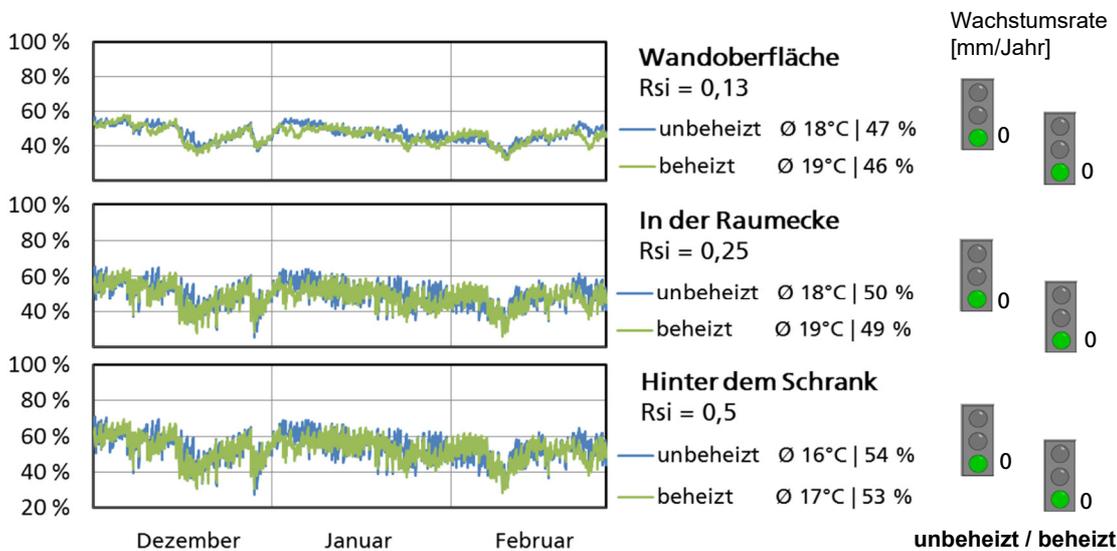
Sehr kritische Verhältnisse in den Raumecken mit und ohne Beheizung

# Beurteilung des Schimmelrisikos

**Simulationsergebnisse:** Oberflächenbedingungen / Schimmelpilzrisiko



## Variante 3: wärme gedämmt und mit neuen Fenstern



Völlig unkritisch selbst hinter Schränken an der Außenwand

# Beurteilung des Schimmelrisikos

## Ergebnisse aus Umfragen unter Sachverständigen:

Fraunhofer IRB Verlag

Bauforschung für die Praxis, Band 84

Rainer Oswald, Géraldine Liebert, Ralf Spilker

Schimmelpilzbefall bei hochwärme-  
gedämmten Neu- und Altbauten  
Erhebung von Schadensfällen – Ursachen und  
Konsequenzen

### 5.15 Zusammenfassung der Ergebnisse der Umfrage unter Sachverständigen

Schimmelpilzschäden bei hochwärmege-  
dämmten Gebäuden sind von ö.b.u.v. Sach-  
verständigen kein besonders häufig beobachtetes Problem. Etwa 40 % der befragten  
Sachverständigen geben an, dass ihnen solche Schäden bei dieser Gebäudegruppe  
aus eigener Erfahrung nicht bekannt sind. Bei den übrigen Sachverständigen variiert  
die Zahl der bearbeiteten Fälle deutlich, im Durchschnitt werden 12 Fälle (auf den  
Zeitraum der letzten fünf Jahre bezogen) begutachtet.

In einer groben Hochrechnung dieser Angaben auf den Gesamtbestand der Woh-  
nungen darf vermutet werden, dass der Anteil der jährlich errichteten Neubauwoh-  
nungen, an denen Schimmelpilzschäden auftreten, die von ö.b.u.v. Sachverständi-  
gen begutachtet werden, deutlich unter 0,7 % liegt.

#### Bestätigung:

Hohe Wärmedämmung  
schützt vor  
Schimmelbefall

## Schlussfolgerungen – sichere Lösungen für unterschiedliche Temperaturen

### Empfohlene Grenzen für die Innenoberflächentemperatur **bei stationären Verhältnissen**

Din DIN/TS 4108-8 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 8: **Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden**“ (September 2022)

empfiehlt für das **Heizen von Schlafräumen**

**Die durchschnittliche Raumlufthtemperatur sollte** wegen der Feuchteabgabe der schlafenden Personen nicht unter **16 °C** sinken.

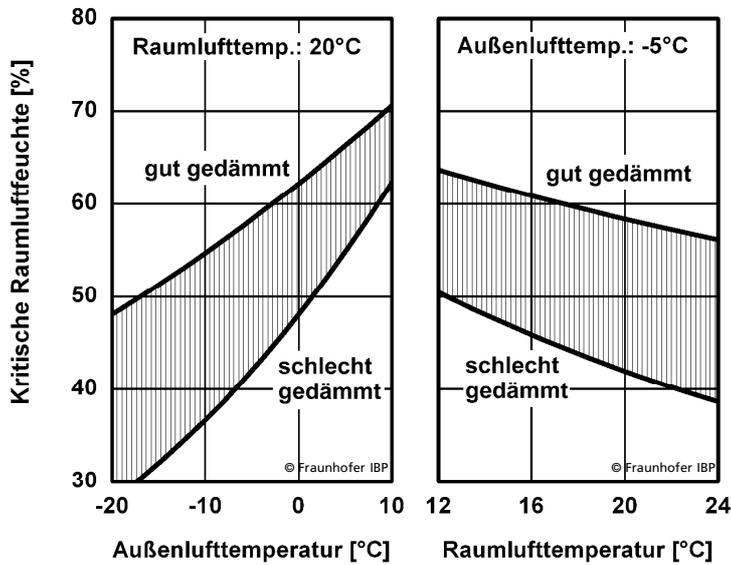
Bei schlechtem Wärmeschutz sind unter Umständen sogar noch höhere Raumlufthtemperaturen zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum erforderlich.

Eine Ausnahme ist lediglich zulässig, **wenn die Fenster die ganze Nacht geöffnet bleiben.**

Was folgt daraus ?

# Schlussfolgerungen – sichere Lösungen für unterschiedliche Temperaturen

## Empfohlene Grenzbereiche für die Raumlufffeuchte bei stationären Verhältnissen



Vermeidung von Schimmelpilzbefall in Ecken und Laibungen (basierend auf DIN 4108-2):

Die zulässige mittlere Raumlufffeuchte im Winter wird vom Wärmedurchlasswiderstand der Wand bestimmt. Sie liegt bei Teilbeheizung je nach R-Wert unter den jeweiligen Grenzkurven im rechten Bild

Schraffierter Bereich:  $R = 0,55 - 2 \text{ m}^2\text{K/W}$

Zur Erfassung der Raumlufffeuchte sollte ein Hygrometer eingesetzt werden.

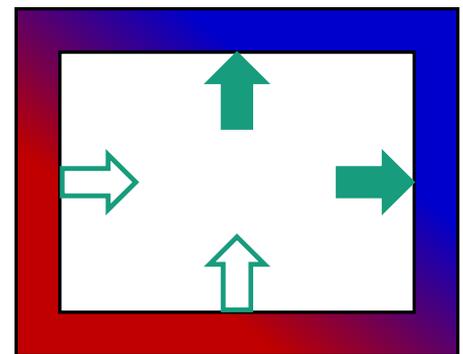
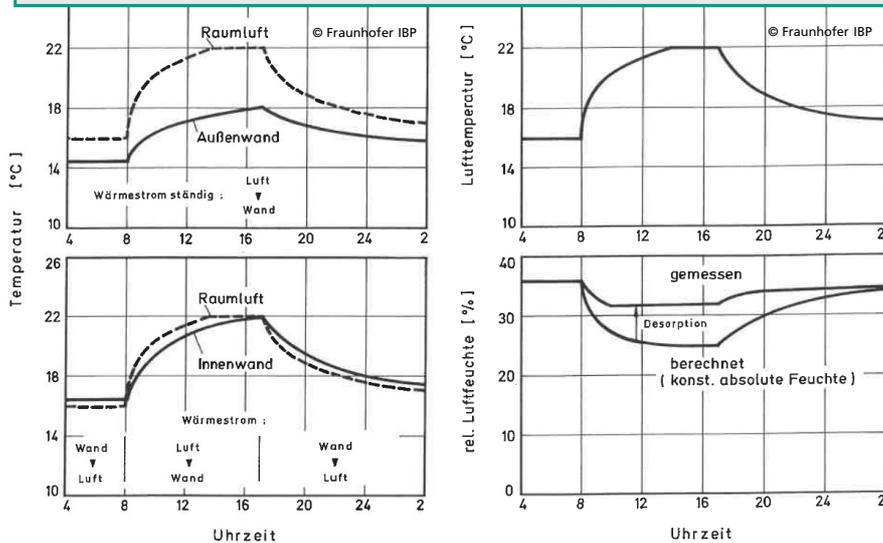
Bei Bedarf ist zu lüften oder nachzuheizen. Als Alternative kann auch ein Raumlufftrockner aufgestellt werden.

Je geringer die Raumtemperatur desto weniger wirksam sind Lüftung und Raumlufftrockner

# Schlussfolgerungen – sichere Lösungen für den diskontinuierlichen Betrieb

## Hygrothermische Bedingungen bei instationärem Heizungsbetrieb

Gemessene Temperatur- und Feuchteverläufe beim Aufheizen und Abkühlen eines Büroraums (massive Wände  $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bei ca.  $0^\circ\text{C}$  Außentemp.



Beim Aufheizen sinkt die relative Feuchte im Raum. Dadurch wird aus den warmen Innenwänden Feuchte desorbiert.

Die absolute Feuchte steigt und fällt an den Außenwänden aus ► Lüften!!

## Allgemeine Schlussfolgerungen zur Raumtemperaturabsenkung

Durch Temperaturabsenkung steigt vor allem bei **ungedämmten Gebäuden** das Schimmelrisiko. Zur Vermeidung von Problemen ist deshalb folgendes zu beachten:

- ❑ Schlafräume oder Wohnräume mit hoher Belegung sind besonders gefährdet
- ❑ Die Aufstellung eines Hygrometers oder noch besser eine feuchtegesteuerte Lüftungsanlage helfen bei der notwendigen Überwachung der Raumluftfeuchte
- ❑ Bei Überschreiten der kritische Raumluftfeuchte sollte gelüftet oder nachgeheizt werden, ggf. beides.
- ❑ Angepasstes Lüften, z.B. mithilfe einer Lüftungsanlage oder zeitlich begrenzte Spaltlüftung nach erhöhter Feuchteproduktion, ist meist besser als kurzzeitiges Stoßlüften.
- ❑ Beim Hochheizen kalter Räume sollte während des Aufheizvorgangs ausreichend gelüftet werden.
- ❑ Türen zwischen niedrig beheizten und normal beheizten Räume sollten möglichst geschlossen bleiben.
- ❑ Wäsche aufhängen und andere außergewöhnlichen Feuchteinträge sollten vermieden werden.

**Bei hochgedämmten Gebäuden ist eine Temperaturabsenkung i.d.R. kein Problem**

## Auswirkungen einer Temperatur-Absenkung auf hygienische Bedingungen im Raum

**Bauzentrum Web-Forum: Schimmel vorbeugen – auch bei niedrigerer Raumtemperatur**

Hartwig Künzel  
Fraunhofer IBP, Holzkirchen

Weitere Informationen  
unter [www.bauphysik.de](http://www.bauphysik.de)

Danke für's Zuhören!

