



**KLINIKUM**  
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

INSTITUT UND POLIKLINIK FÜR  
ARBEITS-, SOZIAL-, UMWELTMEDIZIN  
DIR: PROF. DR. MED. DENNIS NOWAK



# Umweltmedizinische Bedeutung von Schimmel und Feuchte im Innenraum

Informationsveranstaltung  
Handwerkskammer für München und  
Oberbayern, 26.10.2011

Uta Ochmann, Dennis Nowak



## Wachstumsbedingungen

### Nahrungsquellen:

- organischen Substanzen (bereits in ausreichender Menge in Staubablagerungen auf fast allen Bauteiloberflächen vorhanden)

### Orte:

- Holz, Tapeten, Wandfarben, Poren von Putz und Beton
- Blumentöpfe, abgestorbene Teile von Zimmerpflanzen
- Synthetische Fußbodenbeläge, Leder, Leime

### Temperatur:

Minimum bei 0 °C, das Maximum bei ca. 50 °C  
(Cladosporium noch unter 0 °C, Aspergillus fumigatus Maximum bei 55 °C)

Optimaltemperatur 25 - 35 °C

### Feuchtigkeit:

65% bis 100% relative Luftfeuchte

# Feuchtigkeit in Innenräumen

## **direkter Eintrag von Feuchtigkeit**

- defekte Dächer (insbesondere Flachdächer), Dachrinnen, Fallrohre
- Risse im Mauerwerk
- ungenügendes Austrocknen nach Baumaßnahmen
- Wassereintritt infolge Rohrbrüchen, Überschwemmungskatastrophen
- Kochen, Duschen, Wäschetrocknen

## **unzureichende Abfuhr erhöhter Raumlufffeuchte**

- unsachgemäßes Heizen und Lüften, insbesondere in „luftdichten“ Gebäuden
- Kondensation von Luftfeuchte im Bereich von „kalten“ Wänden (Baufehler)

## Wasserdampfabgabe 3-Personen-Haushalt

- 30 bis 100 g/h je Person
- Duschen, Waschen, Wäschetrocknen, Kochen, Pflanzen, Aquarien ...  
→ **täglich etwa 6 bis 14 kg Wasser**

Um 10 kg Wasser aus Innenräumen abzuführen:  
müssen ca. 3.000 kg Luft bewegt werden →  
Luftinhalt der Innenräume muss etwa 7 mal täglich ausgetauscht werden

- bei geschlossenen Fenstern und Türen hat man Luftaustauschraten zwischen ca. 0,2 – 2 pro Stunde (je nach Fenstertyp und Bausituation)
- bei weit geöffneten Fenstern steigt die Luftaustauschraten auf 10 - 20 pro Stunde

# Gesicherte gesundheitsrelevante Wirkungen

**Allergien**

**Infektionen** (Haut, Lunge,  
bei Immunschwäche,  
z. B. Aspergillose)

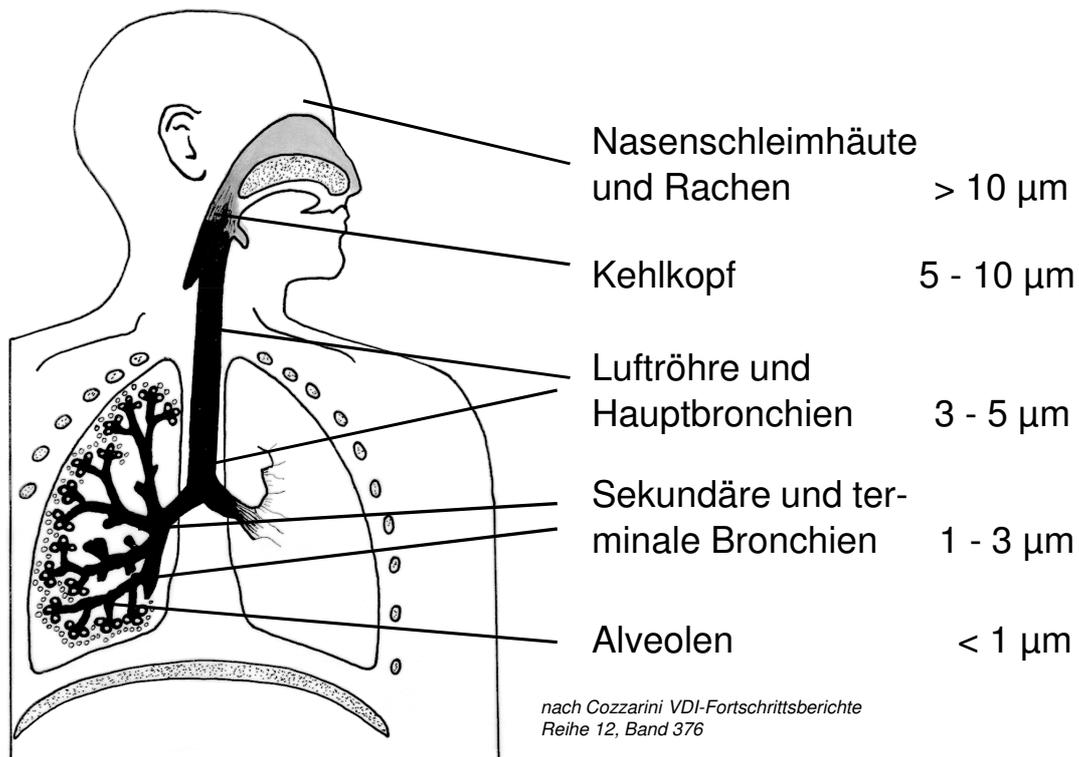
## Expositionspfade

**Inhalativ**

**Oral**

**Dermal**

# Eindringtiefen verschiedener Partikelgrößen



## Schimmelpilz-Allergene

Sporen: Ø 2 bis 10 µm (bis zu 30 µm)

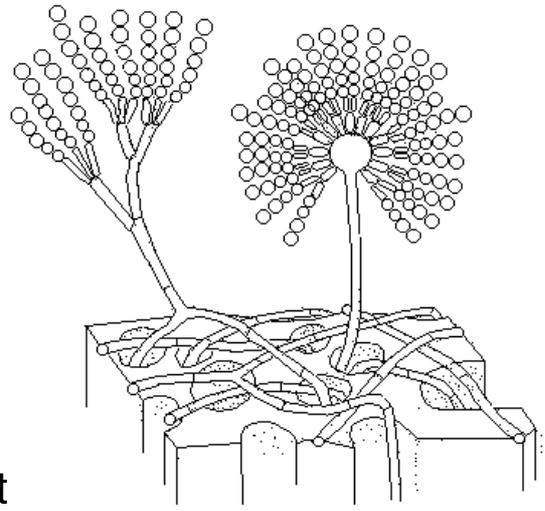
Mycelbruchstücke: bis zu 10 µm breit, über 30 µm lang

Abgabe von Allergenen an Staub

Pro Spezies bis zu 30 verschiedene Allergene bekannt

## Sensibilisierende Wirkung

- Flugfähigkeit der Sporen  
Penicillium expansum: viele gut flugfähige kleine Sporen  
Stachybotris chartarum: schlecht flugfähige Sporen in Schleimhülle
- Auch nicht kultivierbare Sporen und abgestorbene Mycelteile können allergene Wirkung haben
- Abhängigkeit von genetischer Prädisposition und Beschaffenheit der betroffenen Nasen- oder Bronchialschleimhaut



## Außenluft und Innenraum

### **Außenluft - charakteristische Schimmelpilze**

Cladosporium herbarum, Alternaria alternata, Aspergillus fumigatus, Botrytis cinerea

Jahreszeitliche (Sommer >> Winter) + witterungsabhängige Schwankungen → **saisonale Beschwerden**

### **Innenraum - (Feuchtschaden) - Schimmelpilze**

Penicillium chrysogenum, Aspergillus versicolor, Stachybotrys chartarum, Chaetomium spp., Eurotium spp.

→ **ganzjährige Beschwerden**

# Prävalenz Sensibilisierung GA<sup>2</sup>LEN skin test study

Allergen	Deutschland	Dänemark	Italien
<i>Alternaria alternata</i>	<b>11,0%</b>	8,2%	3,5%
<i>Cladosporium herbarum</i>	<b>8,0%</b>	7,9%	0,0%
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<b>6,2%</b>	4,8%	0,4%
Gräser	37,9%	69,9%	19,5%
Katze	28,1%	49,3%	21,3%

[Heinzerling LM, Burdach GJ et. al, GA<sup>2</sup>LEN skin test study I, Allergy 2009, 64:1498-1506]

## Gibt es Schwellenwerte?

- Sensibilisierung bereits bei Hintergrundbelastung möglich
- Symptomauslösung bei Sensibilisierten: ab 100 Sporen/m<sup>3</sup> Luft
- Dosis-Wirkungsbeziehung?

440 Gautrin et al.

Montreal, Kanada

J ALLERGY CLIN IMMUNOL  
FEBRUARY 1994

**TABLE III.** Immediate skin reactivity: Distribution of subjects by occupational group

	All park workers (n = 173)	Lawn cutters (n = 128)	Blue-collar workers (n = 67)
Atopy	52 (30%)	41 (32%)	25 (37%)
Pollen sensitization			
Grass	28 (16%)	23 (18%)	15 (22%)
At least 1 pollen*	47 (27%)	34 (27%)	24 (36%)
Mold sensitization			
<i>Alternaria</i> †	18 (10%)	15 (12%)	3 (5%)
<i>Cladosporium</i>	5 (3%)	5 (4%)	2 (3%)

Atopy is defined as at least one positive skin reaction to nonoccupational allergens (e.g., house dust, *D. farinae*, and animal danders; molds include *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Phoma herbarum*, *Botrytis cinerea*, and *Curvalaria*).

\*Tree, grass, or ragweed pollens.

†p = 0.1.

# Dosis-Wirkungsbeziehung?

Karvala K, Toskala E, et. al, **New-onset adult asthma in relation to damp and moldy workplaces**, Int Arch Occup Environ Health (2010) 83:855–865

	<b>Schimmelpilzexposition am Arbeitsplatz</b>		
	niedrig ( $<0,5 \text{ m}^2$ ) n=99	mittel ( $<1 \text{ m}^2, <100 \text{ cfu/m}^3$ ) n=97	hoch ( $>1 \text{ m}^2, >100 \text{ cfu/m}^3$ ) n=15
Sensibilisierung gegenüber mind. 1 Schimmelpilz	9,1%	17,5%	26,7%

29 different commercially available mold allergens  
(ALKAbelló A/S, Copenhagen, Denmark)

## Arbeitsplätze mit erhöhter Schimmelpilzexposition

- Gartenbau, Land- und Forstwirtschaft
- Recycling- und Kompostieranlagen
- Kläranlagen
- Lebensmittelherstellung
- Druckereien und Papierindustrie (Luftbefeuchtung)
- Archive, Museen, Bibliotheken
- Metallverarbeitung (Kühlschmiermittel)

# **IgE-vermittelte Typ I Allergie**

allergische Konjunktivitis

allergische Rhinitis

allergisches Asthma  
bronchiale

Urtikaria

---

## **Diagnostik Typ I Allergie – Nachweis der Sensibilisierung**

Pricktest

Intrakutantest

spezifischer

sensitiver

Bestimmung spezifischer IgE-Antikörper im Serum:  
Immunoassays (RAST, CAP)

# Probleme bei der Diagnostik

- Allergenqualität der verfügbaren Testlösungen ist schlecht
- Die Herstellung der Testsubstanzen ist sehr aufwändig, das Schimmelpilzallergen „*Alternaria alternata*“ besteht z.B. aus diversen nicht definierten Einzelallergenen, sodass nicht bekannt ist, ob das tatsächlich symptom-auslösende Allergen mitgetestet wird
- Testsubstanzen verschiedener Hersteller können durch unterschiedliche Extraktionsmethoden verschiedene Allergene enthalten
- Extrakte von Mycel und/oder Sporen können völlig verschiedene Allergenzusammensetzungen aufweisen
- Allergenextrakte gibt es nur für eine begrenzte Anzahl von Schimmelpilzen (ca. 20), für viele charakteristische Innenraumpilze gibt es keine Testsubstanzen

## Indirekter IgE-Nachweis

### **Degranulationstest**

Messung der Freisetzung von Histamin oder Leukotrienen (CAST) aus basophilen Granulozyten nach Zugabe von Allergenen

### **Basophilenaktivierungstest**

Bestimmung des Oberflächenmarkers CD 63 mittels der Durchflusszytometrie nach Zugabe von Allergenen

- methodisch aufwendig
- teuer
- häufig ungeeignet für den Versand von Proben
- anspruchsvoll in Durchführung und Interpretation

→ **Keine Routinemethoden, in Einzelfällen sinnvoll als weiterer diagnostischer Baustein**

# Nachweis der klinischen Relevanz

## Spezifische Provokationstestungen mit Allergenen

- konjunktival
- nasal
- bronchial

## Allergische bronchopulmonale Aspergillose

Typ I, III + IV Allergie - meist *Aspergillus fumigatus*

bei immunkompetenten Menschen mit Asthma bronchiale oder Cystischer Fibrose

Prävalenz: Asthmatiker 7-14%, CF bis 23%

klinische Symptomatik:

Lungeninfiltrat, Lungenfunktionseinschränkungen, zentrale Bronchiektasen, stark erhöhtes Gesamt IgE, *A. fumigatus* spezifische IgE und IgG-Antikörper erhöht

# Exogen-allergische Alveolitis

Typ III / IV Allergie – IgG vermittelt

## Befeuchterlunge

Inhalation von schimmelpilzhaltigen  
Wasseraerosolen  
(Zimmerspringbrunnen, Luftbefeuchter,  
Klimaanlagen)

## Farmerlunge

Inhalation von organischen Stäuben

---

# Exogen allergische Alveolitis

## Immunologisch vermittelte interstitielle Pneumonie

Inzidenz: 3-4 Fälle/100.000 Einwohner pro Jahr

ca. 15 BK-Anerkennungen pro Jahr (BK 4201)

### Akute EAA:

Symptome 6-8 Stunden nach Allergenexposition

Krankheitsgefühl, Glieder- und Kopfschmerzen, Fieber, Schüttelfrost,  
Atemnot, Husten, inspiratorisches Knisterrasseln

Lungentransparenzminderung, IgG-Antikörper erhöht,

BAL: Lymphozytose, CD4/CD8 erniedrigt

### (Sub)-chronischer Verlauf:

IgG-Antikörper erhöht, schleichend progrediente Atemnot,  
chronischer Husten, Müdigkeit, Gewichtsverlust, irreversible  
Lungenschädigungen

# Infektionen - Mykosen

- Ursächlich: Opportunistische pathogenen Arten, z. B. Aspergillus fumigatus, Aspergillus niger, Aspergillus flavus
- Auftreten von pathogenen Schimmelpilzen im Innenraum relativ selten
- Sehr selten bei gesunden, immunkompetenten Personen
- Begünstigung: geschwächtes Immunsystem, Transplantations-, Intensiv-, AIDS-, Krebs- und Mukoviszidosepatienten
- meist Lunge, seltener Nasennebenhöhlen, Ohr oder nicht intakte Haut
- Vom Atemtrakt ausgehend können die Schimmelpilze über das Blut oder Lymphbahnen streuen und andere Organe befallen

## mögliche gesundheitsrelevante Wirkungen

**Toxisch-irritative Wirkungen**

**Geruchsbelästigung**

## Toxisch-irritative Wirkungen

Zerfallsprodukte aus Zellwand der Schimmelpilze (Glukane) → Freisetzung von Entzündungsmediatoren aus Epithelzellen und Makrophagen

Einige Schimmelpilze bilden Mykotoxine → Gefährdung bei oraler Aufnahme (Aflatoxine → Leberkrebs?)

möglicherweise auch inhalativ toxisch-irritative Beschwerden → „Mucous Membrane Irritation“ (unspezifische Reizungen der Schleimhäute, Augenbrennen, Tränen, Niesreiz, Sekretion und Obstruktion der Nase, Trockenheitsgefühl Rachen, Räusperzwang)

Bei sehr hohen Schimmelpilzexpositionen toxische Lungenerkrankungen möglich (toxische Pneumonitis)

## Geruchsbelästigung - MVOC

MVOC = Microbial Volatile Organic Compounds  
leichtflüchtige organische Komponenten als Stoffwechselprodukte  
unterschiedliche Alkohole, Ketone, Terpene, Schwefelverbindungen

üblicherweise in Innenräumen sehr niedrige Konzentrationen → eher kein Beitrag zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen

gesundheitliche Bedeutung der MVOC bislang nicht ausreichend erforscht

erhöhte Werte → Hinweis auf versteckten Schimmelpilzbefall

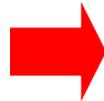
# Anamnese - Probleme

## 1. Patienten sind sich der Exposition nicht bewusst...

... und können keine spezifischen Angaben zu symptomverstärkenden Expositionen machen:

- Schimmelpilze sind überall
- Einige Schimmelpilz-Arten setzen ihre Sporen tagsüber frei, andere dagegen nachts
- Hohe Sporenkonzentrationen in der Luft eher von Mai bis Oktober

Typisch allergisches  
Krankheitsbild  
(Asthma, Rhinitis)



Allergologische  
Diagnostik

# Anamnese - Probleme

## 2. Patienten bemerken Schimmelpilzbefall in der Wohnung...

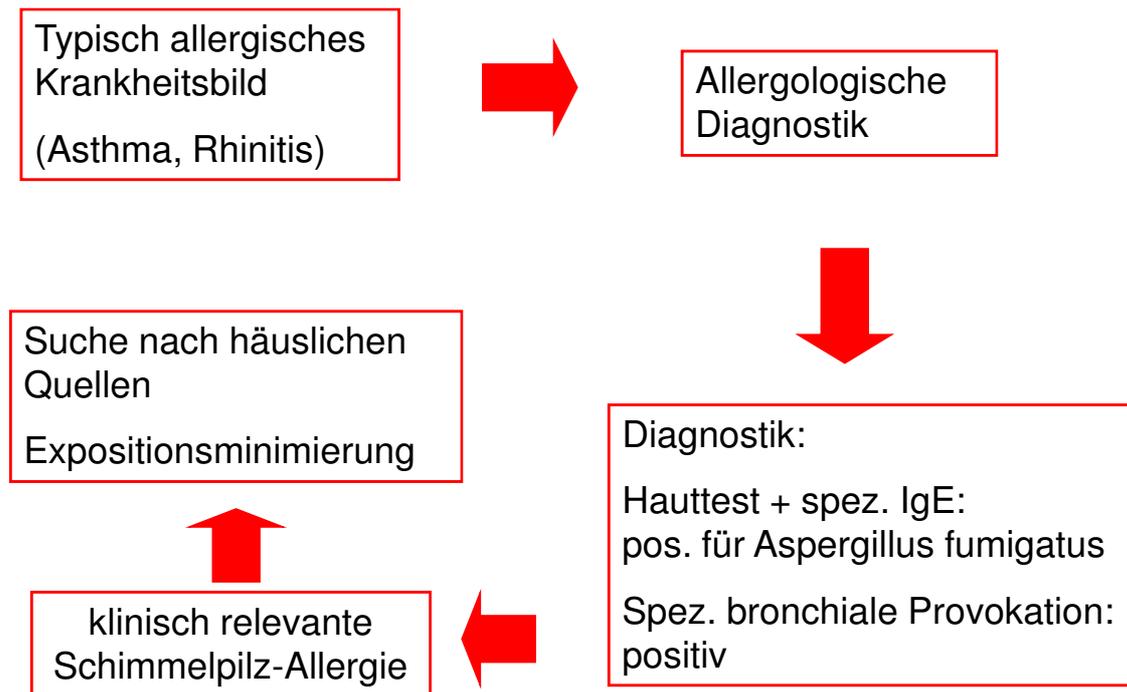
... und sehen Kausalitäten zu (allen möglichen) Symptomen

Symptome:  
Hautrötungen  
Augenbrennen  
**Rhinitis**  
**Luftnot**  
Müdigkeit  
Kopfschmerz

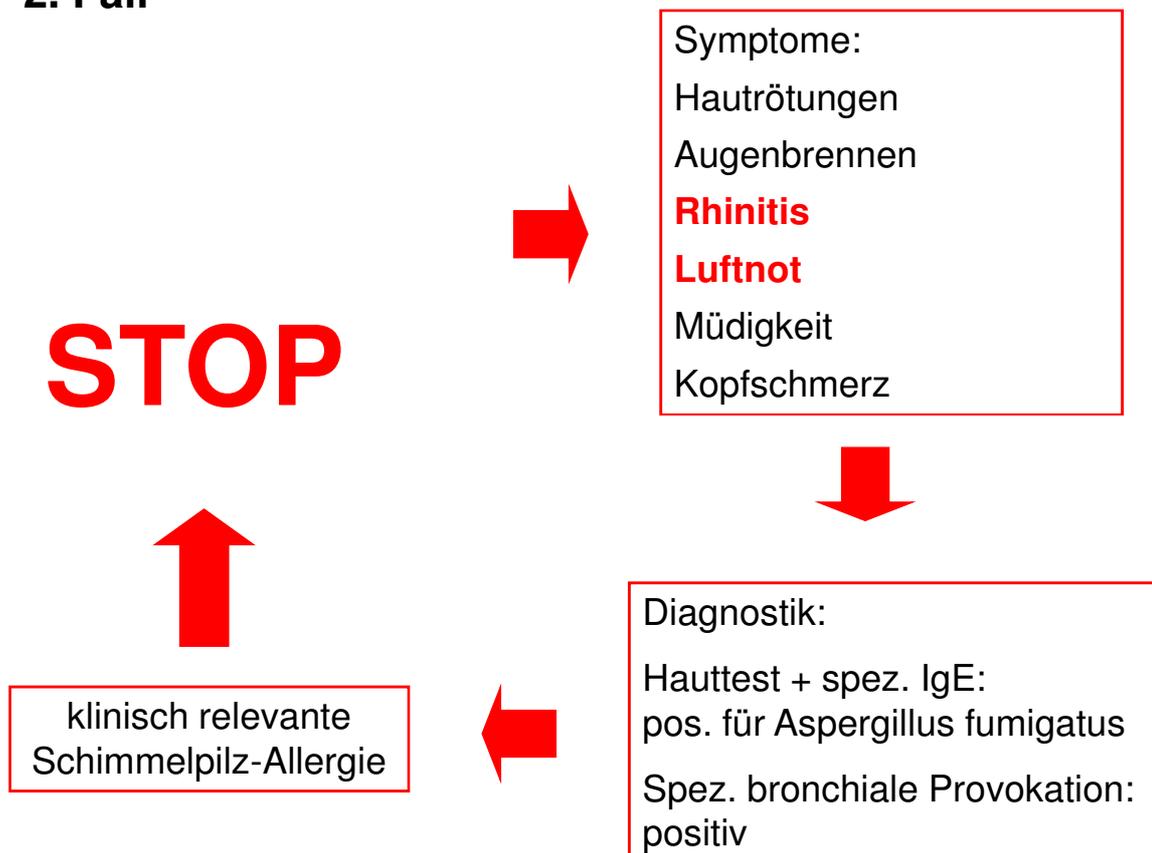


Allergologische  
Diagnostik

## 1. Fall



## 2. Fall



## **Innenraummessungen**

### **Nachweis mittels Kultivierung**

#### **Koloniebildende Einheiten (KBE)**

in Staub-, Material-, Luftproben

Vorteil:

Bestimmung verschiedener Spezies möglich

Nachteil:

es werden nur lebende Sporen erfasst,

die Kultivierungsbedingungen sind unterschiedlich,

Schimmelpilze behindern sich gegenseitig im Wachstum

## **Innenraummessungen**

### **Nachweis mittels Partikelauswertung**

in Luftproben

Vorteil:

Erfassung von toten oder schlecht keimfähigen Sporen  
(Stachybotris), Mycelteilen und von Sporenaggregaten

Nachteil:

Pilze mit ähnlichen Sporen werden nicht differenziert

Staub und Hautepithelien stören bei der Auswertung

sehr aufwändige Methode

## Bewertung

### **Luftproben:** Momentaufnahme

- Vergleich Konzentration „Außenluftpilze“ in Außen- und Innenraumluft:  
unauffällig: Innenraum < 70% Außenluft  
Innenraumschaden: Innenraum > 200% Außenluft
- Summe der KBE außenluftuntypischer Arten  
unauffällig < 150  
Innenraumschaden > 500
- Differenzierung der Spezies: vermehrt Feuchtschädentypische Pilze → Innenraumschaden

### **Staubproben:** Langzeitbeurteilung

### **Materialproben:** Hinweise auf Quelle

## Bewertung

- Der Nachweis einer Schimmelpilzquelle ist nicht gleichzusetzen mit akuter gesundheitlicher Gefährdung
- Der Nachweis einer Schimmelpilzquelle belegt keinen Kausalzusammenhang zu Symptomen
- Innenraum-Schimmelpilz ist immer ein hygienisches Problem
- als vorbeugender Gesundheitsschutz gilt ein Minimierungsgebot

**→ jeder Schimmelpilzbefall gehört saniert!**