

**Ursachen, begünstigende Faktoren,
Auswirkungen und Prophylaxe von Feuchtigkeit
und Schimmelpilzbildung in Wohnräumen**

DISSERTATION

Zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von der Ärztin im Praktikum Sabine Fleischmann
geboren am 10.11.1975 in Meiningen

Gutachter 1: Prof. Dr. Fiedler, Jena

Gutachter 2: Prof. Dr. Schiele, Jena

Gutachter 3: Prof. Dr. Botzenhart, Tübingen

Tag der öffentlichen Verteidigung: 02.06.2003

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Zielstellung	2
3.	Literaturübersicht	3
3.1.	Biologische Aspekte der Schimmelpilze	3
3.1.1.	Allgemeines	3
3.1.2.	Lebensbedingungen.....	3
3.2.	Ursachen und begünstigende Faktoren für das Schimmelpilzwachstum im Innenraum.....	4
3.2.1.	Feuchtigkeit als Hauptwachstumsfaktor	4
3.2.2.	Relative Luftfeuchte, Materialfeuchte, Oberflächenfeuchte, Gleichgewichts- feuchte	7
3.3.	Pilzprobennahme, Kultivierung und Analyse.....	10
3.3.1.	Gebäudeanamnese	10
3.3.2.	Luftkeimbestimmungsverfahren.....	11
3.3.2.1.	Allgemeines	11
3.3.2.2.	Filtrationsverfahren, Trägheitsabscheideverfahren.....	11
3.3.2.3.	Einflussfaktoren auf die Keimzahlbestimmung der Luft	12
3.3.3.	Kultivierung.....	14
3.3.4.	Mikroskopischer Nachweis	15
3.3.5.	Weitere Nachweismethoden.....	16
3.3.6.	Probennahme (Luft-, Oberflächen-, Material- und Staubproben)	17
3.4.	Bewertung des Schimmelpilzbefalls	18
3.4.1.	Außenluft.....	18
3.4.2.	Innenraumluft	19
3.5.	Gesundheitliche Auswirkungen von Schimmelpilzen.....	21
3.5.1.	Allgemeines	21
3.5.2.	Allergische Erkrankungen.....	22
3.5.3.	Nichtallergische toxische Erkrankungen.....	24
3.5.4.	Infektionen durch Schimmelpilze.....	24
3.5.5.	Mykotoxine und Mykotoxikosen.....	25
3.5.5.1.	Allgemeines	25
3.5.5.2.	Exposition in Wohnungen, Bürogebäuden und Kindereinrichtungen.....	26

3.5.6.	Flüchtige organische Verbindungen (FOV, MVOC).....	28
3.5.7.	Expositionsabschätzung	29
3.6.	Maßnahmen zur Prophylaxe und Bekämpfung von Schimmelpilzbefall in Gebäuden.....	29
3.6.1.	Prophylaxe	29
3.6.2.	Erkennung und Bekämpfung.....	31
3.6.2.1.	Ortsbegehung.....	31
3.6.2.2.	Bekämpfung	32
4.	Eigene Untersuchungen.....	33
4.1.	Material und Methode	33
4.2.	Ergebnisse.....	38
4.2.1.	Ergebnisse der standardisierten Messung und Probennahme.....	38
4.2.1.1.	Keimbestimmung und klimatische Parameter	38
4.2.1.2.	Sporenzahlen, Pilzgattungen und Klimaparameter von befallenen Zimmern feuchter Wohnungen	46
4.2.1.3.	Sporenzahlen, Pilzgattungen und Klimaparameter von unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen	50
4.2.1.4.	Sporenzahlen, Pilzgattungen und Klimaparameter von Vergleichswohnungen	53
4.2.2.	Ergebnisse (einfache Häufigkeiten und Korrelationsanalysen) des Frageprogramms	55
4.2.2.1.	Allgemeines	55
4.2.2.2.	Fragenkatalog Wohnumwelt (Bauhygiene).....	57
4.2.2.2.1.	Einfache Häufigkeiten.....	57
4.2.2.2.2.	Zusammenhang zwischen Bauhygiene, trockenen Räumen und Räumen mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall.....	63
4.2.2.2.3.	Zusammenhang zwischen Bauhygiene und Fläche des Schimmelpilzbefalls in feuchten Räumen.....	64
4.2.2.3.	Fragenkatalog Wohnumwelt (Wohnverhalten)	65
4.2.2.3.1.	Einfache Häufigkeiten.....	65
4.2.2.3.2.	Zusammenhang zwischen Wohnverhalten, trockenen Räumen und Räumen mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall.....	69
4.2.2.3.3.	Zusammenhang zwischen Wohnverhalten und Fläche des Schimmelpilzbefalls in feuchten Räumen.....	73
4.2.2.4.	Fragenkatalog Mikrobiologie	76

4.2.2.4.1.	Einfache Häufigkeiten.....	76
4.2.2.4.2.	Zusammenhang zwischen Sporenzahl und Schwere des Befalls	76
4.2.2.5.	Fragenkatalog Gesundheit	77
4.2.2.5.1.	Einfache Häufigkeiten.....	77
4.2.2.5.2.	Zusammenhang zwischen Gesundheitsstörungen und Anzahl der feuchten Räume	80
4.2.2.5.3.	Zusammenhang zwischen Gesundheitsstörungen und Fläche des Schimmelpilzbefalls	83
5.	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	84
6.	Zusammenfassung	96
7.	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	99
7.1.	Abbildungen.....	99
7.2.	Tabellen.....	100
8.	Literaturverzeichnis.....	103
9.	Abkürzungsverzeichnis.....	112
10.	Danksagung	114
11.	Lebenslauf.....	115
12.	Eidesstattliche Erklärung.....	116

1. Einleitung

Feuchtigkeit mit daraus resultierendem Schimmelpilzbefall in Innenräumen ist ein altes und weltweites Problem. Selbst in der Bibel (drittes Buch Mose, Kapitel 14, Vers 34 – 48) wird von einem Schimmelschaden in Lehmhütten berichtet. Im tropischen Monsunklima wie in Taiwan ist das Auftreten von Wasserschäden und Schimmelpilzbildung sehr häufig (LI et al., 1997). Aber auch in kalten Gebieten wie in Skandinavien wird in bis zu 27% der Gebäude erhöhte Feuchtigkeit gefunden (FORSBERG et al., 1997; SMEDJE et al., 1997; NORBACK et al., 1999). In einigen Gebieten der USA kommen ebenfalls gehäuft feuchte Wohnungen vor (BRUNEKREEF et al., 1989). 15% der niederländischen Wohnungen weisen Feuchteprobleme mit verstärktem Auftreten von Schimmelpilzen und Milben auf (LEBOWITZ, 1992). In Großbritannien liegt die Zahl bei 2,5 Millionen Wohnungen (LEWIS et al., 1989). Für den nord- und mitteldeutschen Raum ist eine ähnliche Größenordnung anzunehmen (SAGUNSKI, 1997a). In Südwestdeutschland (Baden-Württemberg) wurde in 14,5% bis 19% aller untersuchten Wohnungen eine aerogene Schimmelpilzbelastung im Innenraum nachgewiesen (JOVANOVIĆ et al., 2001).

In Deutschland wurden Feuchte- und Schimmelpilzschäden in Folge gesteigerter Isolierungsmaßnahmen mit verstärkter Fenstererneuerung Ende der siebziger Jahre im Rahmen von Energiesparmaßnahmen festgestellt (EICKE-HENNIG, 2000). Aufgrund des Einbaus von dichten Fenstern in den letzten Jahren führen Lüftungs-, Beheizungs- und Ausstattungsfehler sowie bauliche Mängel (z. B. Wärmebrücken) heutzutage eher zu einem ungünstigen feuchten Raumklima als früher bei besserer natürlicher Lüftung (SCHRODT, 1997; SENKPIEL et al., 1999). Die Senkung der Luftwechselrate durch die neuen dichten Fenstern auf weniger als 0,5 pro Stunde – Hygieniker fordern eine Luftwechselrate von 0,5 bis 1,0 pro Stunde – führt außerdem zu einer ansteigenden Belastung des Innenraumes mit gesundheitsschädlichen Substanzen (KELLER et al., 1998). Feuchte Wände, Kondenswasserbildung und hohe Luftfeuchtigkeit stellen bei niedriger Luftzirkulation die idealen Voraussetzungen für ein mikrobielles Wachstum dar (JOVANOVIĆ et al., 2001). Schimmelpilze und Hausstaubmilben sind die wichtigsten Innenraumallergene und in zahlreichen Studien wurde ein Zusammenhang zwischen respiratorischen Symptomen bzw. Allergien und dem Vorkommen von Feuchtigkeit und Schimmelbefall festgestellt (PITTEN, 1999; BORNEHAG et al., 2001). Zusätzlich wird in Deutschland eine Zunahme von umweltbedingten allergischen Erkrankungen der oberen Atemwege seit dreißig Jahren beobachtet. Die volkswirtschaftlichen Heilungskosten für Allergien liegen jährlich in Milliardenhöhe (MORISKE, 2001).

2. Zielstellung

Nach der politischen Wende erfolgte in den neuen Bundesländern aufgrund von Energiesparmaßnahmen eine verstärkte Sanierung und Isolierung der Gebäude mit Einbau von neuen dichten Fenstern und daraus folgendem verringerten Luftwechsel, so dass hier von einer Zunahme feuchte- und schimmelbelasteter Wohnungen mit Sicherheit auszugehen ist.

Mit dieser Arbeit wird eine in Jena und Umgebung von 1998 bis 2000 durchgeführte umfangreiche Untersuchung über Ursachen von Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall in Innenräumen und deren gesundheitlichen Auswirkungen vorgestellt. Nach Studium der nationalen und internationalen Erfahrungen hinsichtlich der begünstigenden Faktoren von Schimmelpilzwachstum und möglichen Gesundheitsgefährdungen konnte ein standardisiertes Frageprogramm erarbeitet und angewendet werden, welches Aspekte der Wohnumwelt, Bauphysik und Gesundheitsstörungen der Bewohner umfasst. Außerdem werden die quantitativen und qualitativen Ergebnisse der Schimmelpilzsporenmessungen in der Luft und an Oberflächen sowie raumklimatische Daten dargestellt.

Das Ziel der Arbeit ist es, unter den aktuellen Bedingungen im Raum Jena, Ursachen und begünstigende Faktoren von Schimmelpilzbefall in Wohnungen und dessen gesundheitlichen Auswirkungen zu ermitteln und Vorschläge zur Verbesserung der Situation in dieser Hinsicht zu machen. Weiterhin sollten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, welche Schimmelpilzsporenkonzentrationen in der Luft von Wohnungen mit Schimmelpilzbefall auftreten. Letztendlich ist beabsichtigt, aus der Vielzahl der in der Literatur diskutierten Einflussfaktoren auf Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall in Wohnungen die entscheidenden Variablen für spätere weitergehende Untersuchungen zu ermitteln.

3. Literaturübersicht

3.1. Biologische Aspekte der Schimmelpilze

3.1.1. Allgemeines

Pilze sind Mikroorganismen, die sich als Lebewesen ohne Chlorophyll von organisch gebundenem Kohlenstoff ernähren, einen einfachen Vegetationskörper (Thallus) besitzen, ein typisches Pilzgeflecht (Myzel) ausbilden und sich hauptsächlich ungeschlechtlich durch Sporen vermehren (SCHRODT, 1997).

Sie entwickeln sich in zwei Phasen. In der Wachstumsphase oder vegetativen Phase bildet der Pilz nach Keimung der Sporen ein aus Hyphen bestehendes Myzel aus, welches als Substratmyzel der Ernährung dient und oft im Substrat verborgen wächst. Die Vermehrungsphase oder fruktive Phase ist dadurch gekennzeichnet, dass sich ein über der Oberfläche des Nährsubstrates erhebendes Oberflächen- oder Luftmyzel ausbildet, auf welchem die der Vermehrung dienenden Konidienträger (Sporenträger) unter dem Bild eines farbigen Rasen wachsen. Die Freisetzung der Sporen kann durch Feuchtigkeitsschwankungen, Temperaturwechsel, Erschütterungen, Berührungen oder Belichtungsänderungen beeinflusst werden. Die Schimmelpilze sind sehr artenreich und gehören überwiegend zu der Pilzklasse Deuteromycetes (Fungi imperfecti). Im Hausschimmel sind über 30 Arten vertreten, wie z. B. *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Alternaria* u. a. Die häufig vorkommenden *Aspergillus*-arten vermehren sich bei einer gewissen Feuchtigkeit auf jedem Material und die Kolonien sind abhängig von der Art und dem Nährboden vorwiegend grün, gelb, braun oder schwarz gefärbt. Die Schimmelpilze wachsen bis zu 0,7 mm pro Tag und bei optimalen Wachstumsbedingungen kann die Verdopplungszeit einiger Arten nur 2 bis 3 Stunden betragen. Außerdem weisen sie einen sehr hohen Stoffumsatz auf (SCHRODT, 1997).

3.1.2. Lebensbedingungen

Für das Wachstum und die Vermehrung der Schimmelpilze müssen ausreichend Nährstoffe sowie bestimmte Umweltbedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur, pH-Wert, Luftsauerstoff) vorhanden sein (SCHRODT, 1997).

Schimmelpilze sind Lebewesen ohne Blattgrün und ernähren sich deshalb von organischen Kohlenstoffquellen, d. h. sie sind *kohlenstoffheterotroph*. Lebende, tote oder synthetische organische Nährstoffe aus der Umgebung dienen in gelöster Form als Nahrungslieferant. Dem

Hausschimmel reicht meistens schon der Wohnungsstaub zum Leben aus. Raufasertapeten, welche einen hohen Anteil an Zucker, Eiweiß und Lignin besitzen, sowie Dispersionsfarben mit zuckerhaltigen Quellanteilen stellen einen sehr guten Nährboden dar. Schimmelpilze besiedeln ebenso gern Polyvinylacetat(PVAC)-haltige Kunststoffputze und Putzmörtel (SCHRODT, 1997).

Die vorhandene *Feuchtigkeit* ist entscheidend für die Sporenkeimung, das Myzelwachstum und die Sporenbildung. Mit dem weiter unten beschriebenen a_w -Wert wird die benötigte Feuchtigkeit angegeben. Die meisten Schimmelpilze besitzen ihr a_w -Optimum bei 0,90 bis 0,98 und ihr a_w -Minimum bei 0,80 bis 0,85. Bestimmte Arten können jedoch auch bei niedrigen a_w -Werten von 0,70 keimen, bei 0,65 wachsen und bei 0,75 Sporen bilden (SCHRODT, 1997).

Die *Temperatur* ist ein weiterer wichtiger Faktor für das Wachstum von Schimmelpilzen, welche hier aber große Schwankungen tolerieren. So liegt die Minimaltemperatur für das Myzelwachstum bei 0°C, die Maximaltemperatur bei 30°C bis 45°C und die Optimaltemperatur zwischen 20°C und 30°C (SCHRODT, 1997; MORISKE, 2001).

Der *pH-Wert des Substrates* sollte für ein optimales Schimmelpilzwachstum leicht sauer sein (pH-Wert 4,5 bis 6,5) und viele Schimmelpilze können durch Ausscheidung von Stoffwechselprodukten den Wert günstig beeinflussen. Manche Arten wachsen sogar noch bei pH-Werten um 1 oder 10 (SCHRODT, 1997).

Weiterhin brauchen die Schimmelpilze zum Leben *Luftsauerstoff*, welcher jedoch in geringeren Mengen als vom Menschen benötigt wird (SCHRODT, 1997).

Ein ansteigender bzw. höherer atmosphärischer Kohlendioxidgehalt hemmt die Wachstumsgeschwindigkeit vieler Schimmelpilzarten und kann sogar den Stoffwechsel ganz unterdrücken (KELLER et al., 1998).

Licht ist für das Schimmelpilzwachstum nicht notwendig (SCHRODT, 1997).

3.2. Ursachen und begünstigende Faktoren für das Schimmelpilzwachstum im Innenraum

3.2.1. Feuchtigkeit als Hauptwachstumsfaktor

Der Hauptwachstumsfaktor für Schimmelpilzwachstum ist die Feuchtigkeit, welche auf verschiedene Arten in Innenräume gelangen kann. Die überhöhte Innenraumfeuchte kann aufgrund von Baumängeln und Nutzungsmängeln entstehen.

Typische Baumängel:

- Feuchtigkeit kann durch Regen oder Schnee direkt von außen in die Räume eindringen z. B. infolge von Rissen, undichten Wandabdichtungen, mangelhafter Verfugung, undichten Dächern, defekten oder fehlenden Regenrinnen, defekten Wasser- und Abwasserleitungen sowie fehlenden Spritzschutzes (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998; EICKE-HENNIG, 2000; BORNEHAG et al., 2001).
- Bei defekter oder fehlender Horizontal- bzw. Vertikalisolierung kann die aufsteigende Feuchtigkeit des Grundwassers in den Keller bzw. in das Erdgeschoss eintreten (SENKPIEL, 1997; EICKE-HENNIG, 2000; BORNEHAG et al., 2001).
- Dünne und kaum wärmegeämmte Wände werden schneller mit Feuchtigkeit durchtränkt und kühlen leichter aus als dicke und wärmegeämmte (EICKE-HENNIG, 2000).
- An baulichen Schwachstellen, sogenannten Wärmebrücken, kann sich bei normaler Wohnungsnutzung aufgrund von Taupunktunterschreitung Kondenswasser bilden (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998; EICKE-HENNIG, 2000). An Wärmebrücken findet ein höherer Wärmefluss statt als in den angrenzenden Bereichen (SCHRODT, 1998). Dabei fließt die Wärme in Richtung fallender Temperatur, was eine verringerte innere Oberflächentemperatur zur Folge hat. Es gibt vier verschiedene Wärmebrückentypen (SCHRODT, 1998): geometrisch bedingte, materialbedingte, massestrombedingte und umgebungsbedingte. Bei geometrisch bedingten Wärmebrücken, z. B. in Raumecken, ist die Bauteiloberfläche der kalten Außenwand größer als die der warmen Innenwand und dadurch wird mehr Wärme abgeführt. Durch materialbedingte Wärmebrücken bei unzureichender Wärmedämmung oder bei gut wärmeleitenden Materialien (z. B. Stahlbeton- und Stahlteilen im Mauerwerk oder Aluminiumfenster-rahmen) kommt es an diesen Orten zur Kondensatbildung. Massestrombedingte Wärmebrücken entstehen bei Durchführung von Wasserleitungen durch Bauteile oder bei Luftundichtigkeiten von Fugen und Rissen in den Wänden. Hier ergeben sich Wärmeverluste aufgrund von Stoff- und Materialtransport mit Energieübertragung. Umgebungsbedingte Wärmebrücken (siehe auch Nutzungsmängel) resultieren aus der Behinderung der Luftzirkulation, z. B. durch Möbel an Außenwänden oder Vorhänge an Fenstern, und führen zu örtlich unterschiedlichen Oberflächentemperaturen mit Taupunktunterschreitung an den Wänden. Häufig kommen Kombinationen der genannten Wärmebrückentypen vor.
- Durch den Einbau feuchter Baumaterialien und einer ungenügenden Austrocknung von Bauwerken kann Feuchtigkeit in Innenräumen auftreten (BORNEHAG et al., 2001).

-
- Freies Wasser kann weiterhin durch Havarien wie z. B. undichte oder defekte Wasserleitungen, Wasserrohrbrüche, Überflutungen usw. in die Innenräume gelangen (BORNEHAG et al., 2001).
 - Durch die stark hygroskopisch wirkenden Mauersalze wird bei feuchtem Wetter das Wasser angezogen, welches somit in die Innenräume gelangt (EICKE-HENNIG, 2000).
 - Aus mangelhaften Grundrisskonzeptionen können ungenügende Lüftungsmöglichkeiten resultieren (SCHRODT, 1997; SENKPIEL et al., 1999).
 - Ist der Fugendurchlasskoeffizient der Fenster zu niedrig, bedingt dies einen geringen natürlichen Luftwechsel (SENKPIEL, 1997; SENKPIEL et al., 1999).
 - Bei einem zu hohen Dampfdiffusionswiderstand der Bauteile kann nicht genügend Luftfeuchte aufgenommen werden (SENKPIEL, 1997; SENKPIEL et al., 1999).
 - Durch ungenügende Wärmespeicherkapazität der Bauteile oder fehlerhafte Wärmedämm- und Isolierungsmaßnahmen können die Innenräume schnell auskühlen (SENKPIEL et al., 1999).
 - Mängel am Heizungssystem (SCHRODT, 1997; KELLER et al., 1998; SENKPIEL et al., 1999).

Typische Nutzungsmängel:

- Durch zu geringe Lüftung nimmt die Raumlufffeuchte zu (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998; EICKE-HENNIG, 2000).
- Durch falsches Lüften, z. B. ständige Kippstellung der Fenster, kann es zur Oberflächen-tauwasserbildung an auskühlenden fensternahen Flächen kommen (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998).
- Durch zu wenig Heizen, z. B. Nichtbeheizen einzelner Räume, ist die Raumtemperatur zu niedrig und die relative Raumlufffeuchte steigt an (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998; EICKE-HENNIG, 2000).
- Durch falsches Heizen, z. B. Erwärmung von kalten Räumen mit der Luft von warmen Räumen, erhöht sich ebenfalls die relative Raumlufffeuchte (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998;).
- Starke Feuchtigkeitsentwicklungen z. B. bedingt durch Waschen und Trocknen von Wäsche, Kochen und Backen, Duschen und Baden oder auch durch zahlreiche Zimmerpflanzen führen bei ungenügender Belüftung auch zu hoher Raumlufffeuchte (SCHRODT, 1997; KELLER et al., 1998; EICKE-HENNIG, 2000; BORNEHAG et al., 2001).
- Einrichtungs- und Dekorationsfehler (z. B. großflächige Möbel direkt an Außenwänden, Vorhänge an Fenstern bzw. in Ecken, überstehende Fensterbänke oberhalb von

Heizkörpern) können als umgebungsbedingte Wärmebrücken (siehe oben) lokal zu erniedrigten Wandtemperaturen und damit zu Kondenswasserbildung führen (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998).

Größtenteils entsteht die für Schimmelpilze wichtige Feuchtigkeit aufgrund von Taupunktunterschreitung mit Kondenswasserbildung, welche durch das Innenraumklima (Raumluftfeuchtigkeit, Raumlufttemperatur, Temperatur von Oberflächen), Außenklima, Lüftung, Adsorptions- und Desorptionsprozesse der Baumaterialien, Gegenstände und Raumausstattungsmaterialien beeinflusst wird. Oft sind verschiedene Ursachen kombiniert.

3.2.2. Relative Luftfeuchte, Materialfeuchte, Oberflächenfeuchte, Gleichgewichtsfeuchte

Die Luft kann abhängig von ihrer Temperatur gewisse Mengen Wasser in Dampfform aufnehmen. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Feuchte kann sie aufnehmen. Bei gegebener Temperatur wird die höchstmögliche in der Luft enthaltene Wasserdampfmenge als Sättigungsmenge bezeichnet. Ist die Luft zu 100% mit Wasserdampf gesättigt, kann sie keine weitere Feuchtigkeit mehr aufnehmen (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; RICHARDSON, 1998).

Relative Luftfeuchte:

Die relative Luftfeuchte gibt den Prozentsatz der vorhandenen Feuchtigkeitsmenge in bezug auf die Sättigungsmenge an (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997). Die Luft kann je nach Temperatur nur eine bestimmte Menge Feuchtigkeit aufnehmen. Wird der gesättigten Luft noch zusätzliche Feuchtigkeit zugeführt, so fällt diese auf Materialoberflächen in Form kleiner Tröpfchen als Tauwasser aus. Die Temperatur, bei der dieser Prozess beginnt, wird als Taupunkttemperatur oder Taupunkt der feuchten Luft bezeichnet. Tauwasser entsteht, wenn die relative Luftfeuchte der Raumluft zu hoch oder die Oberflächentemperatur des Bauteils zu niedrig ist, und kann schwere Schäden verursachen (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997).

Baumaterialfeuchte

Die Materialfeuchte ist sowohl von der Raumtemperatur und Raumfeuchte als auch von der Materialart und der Struktur des Materials abhängig. Sie kann sowohl gravimetrisch (Wäge-Methode, Darr-Methode) bestimmt und in Massenprozent angegeben werden als auch mittels Leitfähigkeitsmessungen mit Stiftelektroden gemessen werden (SENKPIEL, 1997).

Oberflächenfeuchte

Unter Oberflächenfeuchte versteht man diejenige Feuchte, die sich durch Diffusion bei gegebener Temperatur und Druck aus dem Wandmaterial in einem durch Inertgas trocken gespülten Probenahmeraum einstellt. Sie wird als relative Feuchte gemessen, da die Messsonde nicht auf die Materialoberfläche aufgesetzt wird (SENKPIEL, 1997; SENKPIEL und OHGKE, 2001), und ist abhängig von der Oberflächentemperatur, die wiederum von anderen Faktoren wie z. B. Heizungsart und -dauer abhängt (SENKPIEL et al., 1994; SENKPIEL, 1997). Aus der Oberflächenfeuchte kann abgeleitet werden, inwieweit die produzierte Innenraumfeuchte von den Wänden der Räume aufgenommen wird. Somit ermöglicht sie Rückschlüsse auf das Lüftungsverhalten der Bewohner (SENKPIEL, 1997).

Das Vorhandensein von Tau- oder Schwitzwasser ist nicht nur abhängig von der Oberflächentemperatur des Materials, sondern auch von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit des Raumes. Das bedeutet, dass es auf Oberflächen zur Kondenswasserbildung durch Taupunktunterschreitung aufgrund starker Absenkung der Raumlufttemperatur und/oder hoher Raumluftfeuchtigkeit und/oder niedriger Oberflächentemperatur kommt (SENKPIEL, 1997).

Um eine Innenraumkondensation vor allem im Winterhalbjahr zu vermeiden, sollte die relative Luftfeuchtigkeit nicht über 70% liegen (angestrebter Bereich: 30% – 65% relative Luftfeuchte). Außerdem sollte die Raumlufttemperatur in Wohnräumen $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ betragen und in temperaturabgesenkten Räumen, z. B. in Schlafzimmern, nicht unter 16°C liegen (IRK, 1995; DIN 1946, Teil 2, VDI-Lüftungsregeln).

Gleichgewichtsfeuchte

Die Gleichgewichtsfeuchte oder Wasseraktivität (a_w -Wert) beschreibt die Menge des ungebundenen Wassers, welches für das mikrobielle Wachstum frei zur Verfügung steht und nicht durch lösliche Substanzen (Salze, Kohlenhydrate, Eiweißstoffe) gebunden ist. Sie hängt von der chemischen Zusammensetzung, der Temperatur und dem pH-Wert des Substrates ab und ist definiert als Verhältnis des Wasserdampfdruckes über dem Substrat (p) zu dem Dampfdruck des reinen Wassers (p_0) in der Prüfkammer bei gegebener Temperatur (SCOTT, 1957; SCHORMÜLLER, 1967; SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; RICHARDSON, 1998).

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{\text{RGF}}{100}$$

p = Wasserdampfpartialdruck über dem Nährsubstrat bei gegebener Temperatur

p_0 = Sättigungsdampfdruck des reinen Wassers bei gegebener Temperatur

RGF = relative Gleichgewichtsfeuchtigkeit bei gegebener Temperatur

Einen a_w -Wert von 0 besitzt absolut trockenes Material, z. B. Metall, und den größtmöglichen a_w -Wert von 1,0 hat destilliertes Wasser (SENKPIEL, 1997). Die Gleichgewichtsfeuchte von bestimmten Materialien dient der Einschätzung, ob unter den gegebenen Bedingungen, z. B. Art und Struktur des Materials, ein mikrobielles Wachstum von Schimmelpilzen, Bakterien oder Hefen möglich ist. Dabei kann die Wasseraktivität sowohl für das Material (Nährsubstrat) selbst als auch als Kardinalwert für die Wachstumsgeschwindigkeiten von Mikroorganismen angegeben werden (SENKPIEL, 1997).

Die folgende Tabelle (siehe Tabelle 1) zeigt eine Einteilung der Schimmelpilze nach ihren Wachstumsanforderungen.

Genera/Spezies	Relative Feuchte in %	Substrat- oder Materialfeuchte in Mass. %	Gleichgewichtsfeuchte (a_w-Wert)	Relative Gesamtzahl
Xerophile (z. B. <i>Wallemia sebi</i>)	55 – 65	13 – 15	0,65	5%
Mesophile (z. B. <i>Penicillium</i>-Arten)	65 – 85	15 – 18	0,85	85%
Hydrophile (z. B. <i>Alternaria</i>-Arten)	80 – 98	> 25	0,95	10%

Tab. 1: Einteilung der Schimmelpilze in Feuchtebereiche (SENKPIEL und OHGKE, 2001)

Zu den hydrophilen Pilzen, die ab einem a_w -Wert von 0,95 wachsen, zählen neben *Alternaria* auch *Aspergillus fumigatus*, *Trichoderma*, *Stachybotrys*, *Fusarium* und *Chaetomium* (SAMSON et al., 1994). Feuchteanzeigende Pilze wie *Stachybotrys atra*, *Chaetomium globosum*, *Fusarium moniliforme* und *Trichoderma (harzianum, viride)* können erst nachgewiesen werden, nachdem es zu einem direkten Wasserschaden im Gebäude gekommen ist (WOODS et al., 2000).

Der Feuchtegehalt von Baumaterialien bei gleichem a_w -Wert kann sich erheblich unterscheiden. Zum Beispiel enthält Weichholz bei einem a_w -Wert von 0,8 17% Feuchte, Tapete 11,3%, Zement 1%, Gipskarton 0,7% und Ziegel 0,1% – 0,9% (SIERK, 1977; zit. nach RICHARDSON, 1998).

Aufgrund der Messung von relativer Luftfeuchte, Oberflächenfeuchte und Materialfeuchte lässt sich unter Berücksichtigung bestimmter Einflussfaktoren einschätzen, ob der mikrobielle Befall auf Bauwerksmängel oder auf unrichtiges Wohnverhalten der Bewohner zurückgeführt werden kann (SENKPIEL, 1997).

3.3. Pilzprobennahme, Kultivierung und Analyse

Eine Vielzahl von Nachweismethoden für Schimmelpilze sind bekannt, welche unterschiedlich oft zum Einsatz kommen. Zwar werden häufig ähnliche Methoden angewandt, trotzdem wäre die Einführung von Standard- oder Referenzmethoden von Vorteil, da somit die jeweiligen Ergebnisse direkt verglichen werden können (MACHER, 2001).

Es sollte nicht nur eine Methode angewandt werden, sondern immer mehrere, da die Kombination verschiedener Nachweismethoden für die Einschätzung des Schimmelpilzbefalls notwendig ist (SENKPIEL et al., 1999; PASANEN, 2001).

3.3.1. Gebäudeanamnese

Eine baubiologische Begehung eines verdächtigen Gebäudes sollte auch immer eine Befragung der Bewohner und visuelle Inspektionen mit einschließen. Das sind geeignete und kostengünstige Methoden, welche erste Hinweise auf die Ausdehnung des Schimmelpilzbefalls liefern.

RICHARDSON (1998) empfiehlt die Erfassung folgender Parameter zur Wohnsituation mit Hilfe eines Fragebogens: Alter des Hauses, Bauschäden, verwendete Baumaterialien, Wärmedämmung, Fußbodenbeläge, verkleidete Wände und/oder Decken, Heizungssystem, letzte Renovierung, Lüftungsmöglichkeiten, Einrichtungsgegenstände, Haustiere, Pflanzen, neuer oder alter Wasserschaden u. a.

Die Autorin befürwortet auch das aufmerksame Suchen nach möglichen Wasserflecken, die sich z. B. an Wänden, Decke, Fußboden, Fenster, unter Zimmerpflanzen, unter Teppichen sowie hinter Einrichtungsgegenständen, Waschbecken, Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen befinden können (RICHARDSON, 1998).

MOSHAMMER et al. (2000) dokumentierten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Klassifizierung des sichtbaren Schimmelpilzbefalls und dem Quotienten der Pilzsporenkonzentration der Innenluft gegenüber der Außenluft und schlussfolgerten, dass der Lokalausgang zwar ein wesentlicher Teil der Untersuchung ist, aber eine Sporenzählung nicht immer ersetzen kann.

KOCH et al. (2001) untersuchten die Konzentration von Schimmelpilzsporen im Hausstaub und fanden folgende signifikante Einflussfaktoren auf die Schimmelpilzsporenkonzentration im Innenraum: sichtbarer Schimmelbefall, freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser, seltenes

feuchtes Staubwischen, Anstieg der absoluten Feuchte der Außenluft um 1 g/m^3 und schlecht dichtende Fenster.

3.3.2. Luftkeimbestimmungsverfahren

3.3.2.1. Allgemeines

Es gibt eine Reihe von Methoden für die Probennahme von luftgetragenen Partikeln, die je nach Arbeitsgebiet zum Einsatz kommen (SENKPIEL, 1997; SENKPIEL et al., 1998). Alle quantitativen Verfahren zur Konzentrationsbestimmung von Luftkeimen haben die gleiche Eigenschaft, dass bei vorgegebener Zeit ein bestimmtes Luftvolumen angesaugt wird und die darin enthaltenen Keime entweder auf Festnährmedien impaktiert oder über Filter bzw. flüssige Nährmedien abgeschieden werden (SENKPIEL, 1997). Jedoch besitzen die einzelnen Luftkeimsammler unterschiedliche Abscheideleistungen, welche durch den cut-off-Wert charakterisiert werden. Der cut-off-Wert oder d_{50} -Wert dient als Leistungskenngröße für die Effizienz von Luftkeimsammlern und bezeichnet die Partikeldurchmesserangabe (in μm) bei 50%iger Abscheideleistung (SENKPIEL, 1997). THOMPSON et al. (1994) bestimmten diese Werte mit Hilfe von Polystyrolkugeln und schlussfolgerten, dass mit zunehmender Größe der Schlitzbreite eines Luftkeimsammlers kleinere Partikel schlechter abgeschieden werden und der jeweilige cut-off-Wert desto größer ist. Die kleinsten cut-off-Werte besitzen die Liquid-Impinger und die Zentrifugalimpaktoren weisen die größten cut-off-Werte auf (SENKPIEL, 1997).

3.3.2.2. Filtrationsverfahren, Trägheitsabscheideverfahren

Die Anreicherung von luftgetragenen Bioaerosolen kann durch Filtrations- oder Trägheitsabscheideverfahren erfolgen.

Filtrationsverfahren

Bei den Filtrationsverfahren werden Membranfilter aus Polycarbonat und Cellulosenitrat oder auflösbare Gelatine-Membranen, die direkt auf feste Nährböden aufgelegt oder aufgelöst und ausplattiert werden können, eingesetzt. Die Filtrationsammler werden vor allem zur Untersuchung größerer Luftvolumina und zum Nachweis sehr hoher Pilzkonzentrationen eingesetzt (SENKPIEL, 1997).

Trägheitsabscheideverfahren

Neben der Filtration kommen auch die Impaktion, Zentrifugation und das Impingement zur Anwendung. Diese Trägheitsabscheideverfahren besitzen folgende Eigenschaften (SENKPIEL, 1997; SENKPIEL und OHGKE, 2001):

- Die Runddüsen-(Sieb-)Impaktoren erlauben die Bestimmung der Keimzahl und auch des Keimdurchmessers. Entsprechend dem Trägheitsprinzip werden bei geringen Luftgeschwindigkeiten die größeren Partikel und bei erhöhten Luftgeschwindigkeiten die kleineren Partikel auf der nachgestellten Festagarplatte abgeschieden.
- Bei den Zentrifugal-Impaktoren erfolgt die Abscheidung der Luftpartikel auf einem ringförmig eingelegten Streifen durch Rotation des Probenahmeergehäufes. Hier besteht die Gefahr der Keimüberlagerung, da der Streifen sehr schmal ist.
- Bei den Schlitzdüsenimpaktoren prallen die Luftkeime entsprechend ihrer Massenträgheit auf die Agarplatte auf und bleiben daran haften, nachdem sie im angesaugten Luftstrom durch eine enge Düse gelangt sind. Die Agarplatte dreht sich pro Messzyklus einmal um ihre Rotationsachse; das macht eine Überlagerung der angezüchteten Keime bei normaler Keimdichte weniger wahrscheinlich.
- Die Kombination von Impaktions- und Filtrationsverfahren ist in dem weiter entwickelten Schlitzkeimsammler (FH 3 der Firma Loreco Reckert), bei dem in mehreren Stufen bis maximal 1.000 Liter Luft angesaugt werden können, gegeben. Dieses Gerät kann außerdem bei jedem Neigungswinkel eingesetzt werden.
- Mit der Schlitzdüsen-Impaktion auf beschichteten Objektträgern können lebensfähige und nicht lebensfähige luftgetragene Pilzsporen fluoreszenzmikroskopisch nachgewiesen und auf ein bestimmtes Volumen bezogen werden.
- Beim Impingement gelangt die angesaugte Luft durch ein gebogenes und dem menschlichen Atemtrakt nachempfundenes Sammelrohr in eine Sammelflüssigkeit.

Die Auswahl eines Luftkeimsammlers hängt vom jeweiligen Aufgabengebiet und von der Aufgabenstellung ab und sollte gezielt erfolgen.

3.3.2.3. Einflussfaktoren auf die Keimzahlbestimmung der Luft

SENKPIEL (1997) fasst die Einflussfaktoren bei der Luftkeimprobenahme folgendermaßen zusammen: Partikelkonzentration, Partikelgröße, Aggregationsgrad der Bioaerosole, Art der Probenahme, Ansaughöhe (Tischhöhe: 60 – 70 cm, Sitzhöhe: 1,10 m, Atmungsstehhöhe:

1,50 m), Ansaugvolumen, -zeit und -geschwindigkeit, Angabe zur Umgebungssituation (Belegung, Raumnutzung), Luftwechsel (Belüftungsart, Luftwechseleränderungen) sowie Keimsammlerart (z. B. Impaktor) und -typ (z. B. Schlitz-Impaktor).

Bei den Impaktionssammlern sollte nur so viel Luft angesaugt werden, dass man die Kolonien auf den Nährböden gut auszählen kann. Deswegen wird ein Luftprobevolumen von 100 Liter empfohlen. Filtrationssammler werden vor allem für die Untersuchung größerer Luftvolumina bzw. hoher Pilzkonzentrationen verwendet, da das Herstellen von Verdünnungsreihen nach Abwaschung der Filter mit einer Verdünnungslösung möglich ist.

Die Ergebnisse werden als koloniebildende Einheiten pro Kubikmeter Luft (KBE/m³) angegeben. Werden Luftprobebestimmungen durchgeführt, muss man gleichzeitig die Umgebungssituation und raumklimatische Parameter berücksichtigen und protokollieren. Um eine zusätzliche Belastung von Mikroorganismen aus der Außenluft zu verhindern, sollten 2 bis 6 Stunden vor der Messung und auch während der Messung Türen und Fenster des betroffenen Raumes geschlossen bleiben. Gleichzeitig sollte auch immer eine Messung der Außenluft und wenn möglich auch die Bestimmung von Luftfeuchte, Lufttemperatur, Oberflächentemperatur, Luftwechselzahlen, Windgeschwindigkeit und Windrichtung stattfinden (SENKPIEL, 1997).

Nach SAGUNSKI (1997a, 1997b) sollte heute die Angabe der Gesamtkeimzahlsporenkonzentration vermieden und stattdessen die Art und Zahl der gefundenen Einzelkeime dokumentiert werden.

TRAUTMANN (2001) fasst die Vor- und Nachteile der Luftkeimsammlung folgendermaßen zusammen (s. Tabelle 2):

Vorteile	Nachteile
Ermittlung der Quantität der Luftsporenkonzentration als Summenparameter	Messwerte können stark schwanken, da die Sporenfreisetzung durch Schimmelpilze sowohl von Raumklimaparametern als auch von Wachstumsbedingungen und -stadien der Schimmelpilze abhängt
Artdifferenzierung möglich	Lokalisation des Befalles ist nicht möglich
Gemessene Werte können mit Orientierungswerten verglichen werden	Nur lebende (anzüchtbare) Pilzsporen werden erfasst
Untersuchung von Zusammenhängen mit Gesundheitsstörungen und Erkrankungen in Räumen möglich	

Tab. 2: Vor- und Nachteile der Luftkeimsammlung (TRAUTMANN, 2001)

3.3.3. Kultivierung

Das Anlegen von Schimmelpilzkulturen ist notwendig, da im Direktpräparat oft nicht die charakteristischen Pilzstrukturen zu erkennen sind und vitale und tote Strukturen häufig nicht unterschieden werden können (SCHRODT, 1997). Allerdings ist der Anteil der kultivierbaren Pilze sehr variabel und vor allem von der jeweiligen Pilzgattung und den Probenahme- und Kultivierungsbedingungen abhängig (DILL, 1998).

Nach DILL (1998) kann die Kultivierbarkeit durch nachfolgende Ursachen eingeschränkt sein: Sporen sind abgestorben (z. B. durch den Einsatz von Fungiziden) oder nicht keimfähig, Nährmedium nicht geeignet, Temperaturen für das Wachstum nicht geeignet, zu dichter Pilzbesatz des Nährmediums und/oder Hemmung des Wachstums durch konkurrierende Pilze.

Die Auswahl des Nährbodens (Agar) ist sehr wichtig. Während mesophile und hydrophile Schimmelpilze gut auf den Standard-Pilznährmedien wie z. B. Malzextrakt-Agar oder Sabouraud-Agar wachsen, ist für den Nachweis von xerophilen Pilzen, die eine niedrigere Wasseraktivität für das Wachstum benötigen, der DG18-Agar geeignet und wird auch dafür empfohlen (z. B. SAMSON et al., 1994; DILL, 1998; MACHER, 2001).

Das Bakterienwachstum auf den Pilznährböden kann durch den Zusatz von Antibiotika (z. B. Penicillin, Streptomycin, Chloramphenicol, Chlortetracycline) gehemmt werden (MACHER, 2001).

Das Wachstum verschiedener Pilzarten ist von der Wasseraktivität abhängig, deswegen ist es möglich bei Vorhandensein bestimmter Pilzarten auf die Feuchtesituation und umgekehrt zu schließen. Z. B. ist *Stachybotrys atra*, welcher ab einer Wasseraktivität von 0,94 wächst, ein Indikatorpilz für besonders feuchte Bedingungen und kann nicht mit dem DG18-Agar nachgewiesen werden (DILL, 1998).

Die meisten im Innenraum vorkommenden Pilzen wachsen bei einer Kultivierungstemperatur von 22°C – 25°C gut. Die gesundheitlich gefährlichen Schimmelpilzarten *Aspergillus fumigatus* und *Aspergillus flavus* haben ihr Temperaturwachstumsoptimum bei 37°C (Körpertemperatur) und müssen selektiv bei dieser Temperatur angezüchtet werden (DILL, 1998; MACHER, 2001).

Die Bebrütungszeit dauert im Durchschnitt 3 bis 5 Tage, maximal 7 Tage sowie im Einzelfall 3 bis 4 Wochen.

SENKPIEL und OHGKE (2001) geben folgende Empfehlungen:

- mesophil wachsende Schimmelpilze: Bebrütungstemperatur 20°C – 22°C, DG18-Agar und/oder Malzextraktagar
- thermotolerant wachsende Schimmelpilze: Bebrütungstemperatur 30°C bzw. 37°C oder 43°C, DG18-Agar und/oder Malzextraktagar
- thermophile Actinomyceten (Bakterien): Bebrütungstemperatur 56°C, CASO-Agar.

3.3.4. Mikroskopischer Nachweis

Bei einer Luftprobeuntersuchung können die Sporen entweder auf beschichtete Glasplättchen (mit einem Schlitzkeimsammler) oder auf Filter (mit einem Filtrationssammler) aufgebracht bzw. gesammelt werden. Zusätzlich kann ein Schimmelpilzbefall auch direkt mit Hilfe eines Klebebandpräparates untersucht werden. Dafür wird am Befallsort eine Folien- bzw. Klebefilmkontaktprobe genommen und direkt mikroskopisch ausgewertet (SCHRODT, 1997; DILL, 1998).

Die Probe kann nach einer Anfärbung sowohl lichtmikroskopisch als auch nach einer Färbung mit einem Fluoreszenzfarbstoff fluoreszenzmikroskopisch analysiert werden. DILL (1998) betont, dass mit letzterer Methode sogar festgestellt werden kann, ob die Sporen leben oder schon abgestorben sind.

Tabelle 3 zeigt die wichtigsten Vor- und Nachteile von Mikroskopie und Kultivierung:

Kultivierung	Mikroskopie
Bestimmung des kultivierbaren Anteils.	Bestimmung der Gesamtkonzentration.
Auch Pilze mit uncharakteristischen Sporen sind identifizierbar.	Nur Pilze mit charakteristischen Sporen und/oder Sporenträgern sind identifizierbar.
Identifizierung auf Artebene möglich.	Identifizierung selten auf Artebene möglich.
Quantitativer Nachweis empfindlich, da jede kultivierbare Einheit zu einer sichtbaren Kolonie auswächst.	Bei uncharakteristischen Sporen kann die Nachweisempfindlichkeit schlechter sein.
Keine zusätzlichen Informationen über, aber auch keine Störung durch andere Partikel.	Milben, Milbenkot, Fasern, Haare u.a. nachweisbar; die Auswertung kann dadurch beeinträchtigt sein.
Über unterschiedliche Kultivierungsbedingungen können selektiv bestimmte Pilze nachgewiesen werden.	Alle Pilze sind sichtbar.
Kultivierungsdauer und eventuelle Subkulturen sind abzuwarten.	Auswertung ist sofort möglich.

Tab. 3: Gegenüberstellung von Kultivierung und Mikroskopie (DILL, 1998)

Der Nachweis von Schimmelpilzen erfolgt notwendigerweise durch die Kombination beider Methoden (DILL, 1998).

3.3.5. Weitere Nachweismethoden

Zusätzlich zu den oben charakterisierten klassischen Methoden gibt es noch eine Reihe von neuen und schnelleren Nachweismethoden von Schimmelpilzen, die aber für die Routine-diagnostik noch nicht geeignet sind, wie immunologische Methoden (z. B. Nachweis bestimmter Schimmelpilzallergene) und molekularbiologische Methoden (z. B. Nachweis über spezifische Gensonden), außerdem kann eine Bestimmung von Art und Konzentration der von Schimmelpilzen abgegebenen flüchtigen organischen Substanzen (MVOC) erfolgen.

MVOC (microbial volatile organic compounds) nennt man die von Schimmelpilzen abgegebenen flüchtigen organischen Substanzen. Sie können den Nachweis von verschiedenen Schimmelpilzarten unabhängig von der Untersuchung von Sporen und Myzelien unterstützen. Die MVOC sind zum Teil als Schimmelpilzgeruch wahrnehmbar, welcher als Frühindikator bei verdecktem Schimmelpilzbefall dient (SAGUNSKI 1997a).

Eine Raumlufprobe wird mittels Gaschromatograph und Massenspektrometer untersucht und nach den spezifischen Spektren der MVOC analysiert. Dadurch gelingt auch der Nachweis von verstecktem Schimmelpilzbefall, z. B. hinter Möbeln oder Verkleidungen, oder auch von Schimmelbefall bei dem sich gerade keine lebenden Sporen in der Raumluf befinden. Die MVOC gehören vor allem den Substanzklassen der Alkohole, Alkane, Ketone, Aromaten, Aldehyde, Ether, Ester, Terpene und der Thioverbindungen an (z. B. BÖCK et al., 1998; FIEDLER und SCHÜTZ, 1998) und wurden schon in zahlreichen Studien untersucht (z. B. SAGUNSKI, 1997a, 1997b; BÖCK et al., 1998; KELLER et al., 1998). Von Nachteil ist an diesem Verfahren, dass der Schaden nicht lokalisiert werden kann und das Messverfahren noch zu aufwendig und teuer ist und deswegen noch nicht als Routineverfahren eingesetzt wird.

Weitere Nachweismethoden sind die Identifikation und Messung von Zellwandbestandteilen wie extrazelluläre Polysaccharide (EPS), $\beta(1,3)$ -D-Glucan, Ergosterol, die Identifikation mittels PCR (Polymerase Chain Reaction) und die Messung von Mykotoxinen, welche alle eine gute Alternative zu den klassischen Nachweisverfahren darstellen (SAGUNSKI, 1997b; LARSEN, 2000; PASANEN, 2001). Der Nachweis von Schimmelpilzen kann auch durch speziell auf die Geruchsstoffe der Schimmelpilze trainierte Hunde gelingen (LORENZ, 2001; MORISKE, 2001).

In der Zukunft sollte das Augenmerk auf die Entwicklung von Nachweismethoden mit langer Sammlungsdauer, einer effizienten Sammlung der relevanten Partikelgrößen und besseren Möglichkeiten für weitumfassende Analysemethoden liegen (PASANEN, 2001).

3.3.6. Probennahme (Luft-, Oberflächen-, Material- und Staubproben)

Es können Luft-, Oberflächen-, Material- und/oder Staubproben genommen und analysiert werden.

Luftproben

Vor der Messung sollte der zu untersuchende Raum 2 bis 6 Stunden nicht belüftet werden und während dieser Zeit sollten auch keine Reinigungsmaßnahmen durchgeführt werden. Es erfolgen mindestens zwei Messungen in Sitzhöhe (1,10 m) oder Stehhöhe (1,50 m), wobei jeweils 50 bis 100 l Luft angesaugt werden. Gleichzeitig werden zwei Außenluftproben entnommen (MORISKE, 2001).

Das Entnahmegesäß und der Agar sollten entsprechend dem vermuteten Befall ausgewählt werden. Ein Problem der Luftprobennahme ist dabei die erhebliche regionale und saisonale Schwankung der Schimmelpilzsporenkonzentrationen in der Außenluft. In Mitteleuropa kommen im Juli/August die höchsten Außenluftbelastungen vor, während in der kälteren Jahreszeit (IV. und I. Quartal) die höchsten Keimzahlen in feuchtebelasteten schimmelpilzbefallenen Wohnungen zu finden sind. Weiterhin können die Luftkeimzahlen durch Biotonnen, Komposthaufen oder andere Emissionsquellen in der Umgebung wie auch durch Schimmelpilzbefall auf Lebensmitteln beträchtlich zunehmen.

Oberflächen- und Materialproben

Da Luftproben alleine zur Beurteilung eines Schimmelpilzbefalls nicht ausreichen, wird die zusätzliche Entnahme von Materialproben (Holz, Putz, Tapete u.a.) und/oder direkte Abklatschproben mit einem geeigneten Nährmedium (Aufdrücken einer mit Agar beschichteten flachen Kontaktschale auf die befallene Stelle) zur Bestimmung der Schimmelpilze einschließlich der Arten empfohlen. An den Stellen, wo Abklatschproben nicht möglich sind (z. B. in Ecken), kann mit einem sterilen Tupfer von Oberflächen ein Abstrich entnommen werden. Zusätzlich ist eine Anfertigung von Klebeband-Direktpräparaten möglich, indem ein klarer Klebebandstreifen leicht auf die Pilzkultur gedrückt, vorsichtig abgezogen und auf einen Objektträger geklebt wird, welcher der mikroskopischen Untersuchung sofort zugänglich ist (SCHRODT, 1997).

Mit Abklatsch- und Materialproben kann nicht die Höhe der Keimbelastung in der Innenraumlufte angegeben werden. Einige Schimmelpilzarten lassen sich kaum in Luftproben nachweisen, wie z. B. *Stachybotrys atra*, welcher jedoch gut aus Oberflächenproben zu identifizieren ist (SENKPIEL et al., 1999).

PITTEN (1999) empfiehlt schon bei Verdacht auf Schimmelpilzbefall eine Probenahme von Oberflächen, da Schimmelpilze auch Materialien besiedeln ohne diese für das menschliche Auge sichtbar zu verändern.

Staubproben

Um Aussagen über mögliche dauerhafte Schimmelpilzbelastung im Innenraum zu machen, ist die Analyse von Staubproben sehr hilfreich. Allerdings ist diese Aussage durch die Durchführung von Reinigungsmaßnahmen mit daraus resultierender Staub- und Schimmelpilzsporenverminderung sehr erschwert. Die gesundheitlichen Risiken bestehen vor allem für Kinder, die häufig auf dem Fußboden spielen und aufgewirbelten Staub einschließlich Staubinhaltsstoffe einatmen können (WANNER et al., 1993; SENKPIEL et al., 1999). Der Staub wird hauptsächlich durch Absaugen der einzelnen Oberflächen gewonnen und ist anschließend gleich aufzubereiten (Sieben, Anlegen von Suspensionslösungen, Kultivierung) (GRAVESEN et al., 1986; MACHER, 2001).

3.4. Bewertung des Schimmelpilzbefalls

3.4.1. Außenluft

Die Schimmelpilzsporenkonzentration in der Außenluft ist in den Sommermonaten am höchsten. Die Werte liegen im Durchschnitt zwischen 10^3 und 10^4 KBE/m³ Luft (MÜCKE und LEMMEN, 1999) und können sogar bis auf 10^6 KBE/m³ Luft (STIX und GROSSE-BRAUCKMANN, 1980) ansteigen. In den kälteren Jahreszeiten geht der Sporengehalt weitgehend zurück und ist im Winter kaum mehr nachzuweisen. Nach MÜCKE und LEMMEN (1999) werden in den Sommermonaten 2 bis 3 mal so viel Sporen gefunden als in den Wintermonaten. Im Jahresmittel liegt die Schimmelpilzsporenkonzentration etwa bei 200 KBE/m³ Luft. Die Schimmelpilzsporen machen ungefähr 1/3 bis 2/3 der erfassten Sporen aus, der Rest der Sporen stammt hauptsächlich von den Basidiomyceten (Ständerpilze). Nach KREML-LAMPRECHT (1985) bilden *Cladosporium* spp. und *Fusarium* spp. den Hauptanteil der Schimmelpilze in der Außenluft, dagegen sind *Aspergillus* spp. und *Penicillium* spp. eher weniger in der Außenluft zu finden. Die Mittelwerte von den fakultativ pathogenen

Aspergillen (*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus terreus*) liegen unter 10 KBE/m³ Luft. Es wird von möglichen „Leitkeimen“ in der Außenluft (z. B. *Alternaria*, *Penicillium*, *Cladosporium* und *Mucor*) gesprochen (MORISKE, 2001).

3.4.2. Innenraumluft

In Innenräumen werden am häufigsten Pilze der Gattungen *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria* und *Cladosporium* gefunden, wobei *Cladosporien* auch in der Außenluft saisonal verstärkt vorkommen (RICHARDSON, 1998; MORISKE, 2001).

Bis jetzt sind noch keine allgemeingültigen Grenzwerte für Schimmelpilzkonzentrationen im Innenraum festgelegt worden. Mehrere Autoren haben deswegen Orientierungswerte aufgrund Schimmelpilzexposition und Klagen der Bewohner abgeleitet (s. Tabelle 4).

Schimmelpilzexposition in der Raumluft (KBE/m ³)	Schimmelpilzgenera-/ Gesamtflora	Literaturquellen
> 250 > 50	Gesamte Schimmelpilzflora thermotolerant wachsende <i>Aspergillus</i> spp.	HOLMBERG, 1987
217 (November bis April, geometrisches Mittel) 124 (Mai bis Oktober, geometrisches Mittel)	Gesamte mesophile Schimmelpilzflora	SENKPIEL und OHGKE, 1992
> 100 > 1.000	<i>Alternaria</i> spp. <i>Cladosporium</i> spp.	GRAVESEN, 1979
> 50 > 150 > 300	Einzelpezies Multiple Spezies <i>Cladosporium</i> spp.	MILLER et al., 1988
> 500	gesamte Schimmelpilzflora	REYNOLDS et al., 1990
> 500	gesamte Schimmelpilzflora	REPONEN et al., 1990
> 50	Einzelpezies	MELDRUM, 1993; zit. nach RICHARDSON, 1998
> 1.000	gesamte Schimmelpilzflora am Arbeitsplatz	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, 1993; zit. nach RICHARDSON, 1998

Tab. 4: Abgeleitete Orientierungswerte bei vorhandener Schimmelpilzexposition in der Raumluft und Klagen der Bewohner über gesundheitliche Beeinträchtigungen (zusammengestellt von SENKPIEL und OHGKE, 2001; ergänzt)

Die Keimzahl im Innenraum sollte deutlich unter der in der Außenluft liegen. Die Keimarten im Innenraum sollten sich nicht wesentlich von der in der Außenluft unterscheiden. Speziell pathogene Keime (z. B. *Aspergillus*, *Stachybotrys*) sollten im Innenraum gar nicht oder nur in minimalen Konzentrationen vorkommen (RICHARDSON, 1998).

Die Weltgesundheitsorganisation (WORLD HEALTH ORGANIZATION 31, 1990a) gibt nachfolgende Empfehlungen für Orientierungswerte:

- Die Anwesenheit von pathogenen und toxinogenen Schimmelpilzen (z. B. *Aspergillus fumigatus*, *Stachybotrys atra*) in Innenräumen ist nicht akzeptabel.
- Bei mehr als 50 KBE/m³ Luft pro Einzelspezies muss eine Abklärung der Innenraumemissionsquelle erfolgen.
- Bis zu 150 KBE/m³ Luft Schimmelpilzsporen aus Innenraumquellen können akzeptiert werden, wenn es sich um eine Mischpopulation von Schimmelpilzen handelt.
- Bis zu 500 KBE/m³ Luft in Innenräumen können akzeptiert werden, wenn es sich um auf den Blattflächen von Pflanzen lebende (phylloplane) Schimmelpilze der Umwelt handelt (z. B. Cladosporien).

Bei der Beurteilung von Werten muss die jeweilige Jahreszeit berücksichtigt werden. In den wärmeren Monaten sind in der Außenluft höhere Keimzahlen festzustellen, während in den kälteren Monaten die höchsten Keimzahlen in feuchten Innenräumen zu finden sind.

Die Gesundheit der Bewohner gefährden vor allem die thermophilen Schimmelpilze, die ihre optimale Bebrütungstemperatur bei 36°C ± 1°C besitzen, welche der Körpertemperatur des Menschen entspricht. Deswegen sollten diese Schimmelpilzarten im Innenraum nicht oder nur kurzzeitig vorkommen.

Zusammenfassend lassen sich für Mitteleuropa folgende Empfehlungen geben:

- Unabhängig von der Jahreszeit: Wohnhygienische Abklärung der Innenraumemissionsquelle ist vorzunehmen, wenn die mesophile Mischpopulation 100 KBE/m³ Luft über einer unbelasteten Außenluft liegt (OHGKE et al., 1987; SENKPIEL und OHGKE, 1992; SENKPIEL et al., 1999).
- Unabhängig von der Jahreszeit: Für die wichtigsten *Aspergillus*arten, die unter thermotoleranten Bedingungen anzüchtbar sind (DG18- bzw. Malzextraktagar 36°C ± 1°C) wird ein vorläufiger Orientierungswert von 50 KBE/m³ Luft empfohlen (HOLMBERG, 1987; SENKPIEL et al., 1999).

- In der kälteren Jahreszeit (I. und IV. Quartal): Vorläufiger Orientierungswert der mesophilen Mischpopulation (DG18-Agar $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) 250 KBE/m³ Luft (SENKPIEL et al., 1999; SENKPIEL und OHGKE, 2001).
- In der wärmeren Jahreszeit (II. und III. Quartal): Vorläufiger Orientierungswert für die mesophile Mischpopulation (DG18-Agar $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) 500 KBE/m³ Luft (SENKPIEL et al., 1999; SENKPIEL, 2001).

3.5. Gesundheitliche Auswirkungen von Schimmelpilzen

3.5.1. Allgemeines

Schimmelpilze können mannigfaltige Schäden verursachen, wie z. B. Verderben von Lebensmitteln, Materialzerstörung, Pflanzenkrankheiten und auch Gesundheitsstörungen (Mykotoxikosen, Mykosen, Allergien) (SCHRODT, 1997).

In vielen Untersuchungen konnte der epidemiologische Zusammenhang zwischen feuchten Gebäuden, Schimmelpilzbefall und deren gesundheitlichen Auswirkungen nachgewiesen werden. Schimmelpilze haben eine Geruchsbelästigung zur Folge und können Reizungen von Schleimhäuten (Auge, obere Luftwege), Allergien, Infektionen und Intoxikationen verursachen (SAMSON et al., 1994; MORISKE, 2001).

FIEDLER und HOYER (1996) zeigten in einer Studie über Wohnumwelt und deren Einfluss auf die akuten respiratorischen Erkrankungen im Kindesalter, dass Kinder, die in Wohnungen mit feuchten Wänden lebten, besonders häufig erkrankten.

BORNEHAG et al. (2001) führten eine Literaturrecherche durch und ermittelten, dass auf Grund von Feuchtigkeit in Gebäuden krankhafte Symptome der Luftwege wie Husten, Atemstörungen und Asthma um 40% bis 120% zunahmen. Weiterhin ergaben sich direkte Korrelationen zwischen feuchten Wohnungen und Müdigkeit, Kopfschmerzen und gehäuften Infekten der oberen Luftwege.

KOSKINEN et al. (1994) führten eine Vergleichsuntersuchung durch und kamen zu dem Ergebnis, dass bei den erwachsenen Bewohnern von Wohnungen mit Schimmelpilzbefall Gesundheitsstörungen mit verstopfter oder fließender Nase, Halsentzündung, Heiserkeit, Husten und Symptome einer chronischen Bronchitis viel häufiger vorkamen als bei den Bewohnern von nichtkontaminierten Wohnungen. Die Schulkinder erkrankten häufiger an respiratorischen Infektionen, Heiserkeit und Husten und fehlten doppelt so oft in der Schule als die Kinder in der Kontrollgruppe.

Nach RICHARDSON (1998) sind die gesundheitlichen Auswirkungen der Sporen abhängig von der Anzahl der Sporen, der jeweiligen sporenproduzierenden Schimmelpilzart und der individuellen Disposition des Menschen.

MÜLLER et al. (2002) führten eine prospektive Kohortenstudie durch und fanden eine signifikante Assoziation sowohl zwischen Infektionen des Respirationstraktes und dem Vorhandensein von Penicilliumsporen als auch zwischen der Exposition gegenüber Aspergillussporen und allergischer Rhinitis. Sie schlussfolgerten daraus, dass Schimmelpilze verschiedene gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorrufen können, die von der jeweiligen Spezies abhängig sind.

Gemäß SAGUNSKI (1997a) sind die möglichen Wirkungen bei Schimmelpilzexposition folgende: allergisierend, infektiös, inflammatorisch-irritativ, geruchsbildend, krebserzeugend und toxisch.

3.5.2. Allergische Erkrankungen

Allergische Erkrankungen sind sowohl durch ihre auslösenden Allergene als auch durch die Art der ablaufenden Immunantwort charakterisiert. Viele Schimmelpilzarten können als Allergene wirken, z. B. *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp., *Aureobasidium* spp., *Botrytis* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Mucor* spp., *Penicillium* spp., *Rhizopus* spp. oder *Stachybotrys atra*. Am häufigsten stellen Sporenanteile die allergene Komponente dar, welche aus noch nicht ausreichend chemisch charakterisierten Glykoproteinen besteht (FLANNIGAN et al., 1991; SAGUNSKI 1997a; SCHRODT, 1997). Eine Allergie bzw. Sensibilisierung gegenüber einem Allergen tritt nur bei disponierten Personen auf und ist bei einem positiven Hauttest (Prick-Test) wahrscheinlich. Mit Blutuntersuchungen hinsichtlich spezieller Antikörper (IgE) und/oder dem Provokationstest kann eine Allergie nachgewiesen werden.

Je nach Art der Immunreaktion lassen sich die Allergien in Typ I bis Typ IV klassifizieren. Schimmelpilzallergien können dem Typ I, Typ III und Typ IV zugeordnet werden (COOMBS und GELL, 1975):

Allergie Typ I (Soforttyp)

Die allergische Reaktion erfolgt zwischen Antikörpern vom Typ IgE, welche an Zellen gebunden sind (z. B. Mastzellen, basophile Granulozyten), und den Allergenen. Dabei kommt es zu einer raschen Freisetzung von gefäßerweiternden Mediatoren wie z. B. Histamin. Typische Symptome sind Konjunktivitis, exogen allergische Rhinitis, Sinusitis und

allergisches Asthma (SENKPIEL et al., 1999). Nach MÜCKE und LEMMEN (1999) ist das allergische Asthma die Hauptmanifestation von IgE-vermittelten Schimmelpilzallergien, da die Sporen mit einem Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$ direkt in den Bereich der Bronchiolen gelangen können. Die genetische Disposition hat bei diesem Allergietyp eine wesentliche Bedeutung (SCHRODT, 1997).

Allergie Typ III (Spättyp)

Hier erfolgt eine Reaktion zwischen dem Allergen und den Antikörpern vom Typ IgG und IgM. Es werden unlösliche Komplexe (Immunpräzipitate) gebildet, die in einzelnen Organen abgelagert werden und dort Störungen verursachen können (SCHRODT, 1997). Die wiederholte Inhalation von organischen Stäuben kann eine Lungenentzündung (exogen-allergische Alveolitis bzw. Hypersensibilitäts Pneumonie) verursachen, die akut, subakut oder chronisch verlaufen kann und durch die Symptome Fieber, Schüttelfrost, Myalgien, Atemnot, Husten und Verschlechterung der Lungenfunktionsparameter charakterisiert ist, welche erst nach einer Latenzzeit von vier bis sechs Stunden auftreten. Bei diesem Allergie-Typ muss die Antigenexposition häufig längerfristig und massiv sein (RICHARDSON, 1998; MÜCKE und LEMMEN, 1999). Die exogen-allergische Alveolitis ist als Berufskrankheit anerkannt (BK-Nummer 4201). Bei den exogen-allergischen Alveolitiden Farmerlunge und Vogelhalterlunge sind schon Todesfälle beschrieben worden (MÜLLER-WENIG, 1990).

Kombinierte Allergie Typ I / Typ III

Zur kombinierten Typ I/III-Allergie zählt die Allergische Bronchopulmonale Aspergillose (ABPA), bei der die inhalierten Sporen von *Aspergillus fumigatus* in den Atemwegen keimen, dort Myzelien bilden und als Saprophyten in den Atemwegslumina verbleiben. Dies hat Antikörperreaktionen mit anschließenden Entzündungsreaktionen und Gewebszerstörungen, welche das weitere Schimmelpilzwachstum begünstigen, zur Folge. Nach MÜCKE und LEMMEN (1999) sind diese Patienten meist jung und leiden außerdem an Asthma und Atopie.

Allergie Typ IV

Bei dieser Reaktionsform zirkulieren die Antikörper nicht frei in der Blutbahn, sondern sind an weiße Blutkörperchen, sogenannte sensibilisierte Lymphozyten, gebunden. Gerät der Körper erneut mit Allergenen in Kontakt, so findet sehr langsam (24 bis 72 Stunden) eine zellvermittelte Reaktion mit den Antikörper tragenden sensibilisierten Lymphozyten statt, welche bestimmte Wirksubstanzen (Lymphokine) freisetzen und weitere weiße

Blutkörperchen anlocken. Diese Reaktionen verursachen verschiedene Entzündungen, wie z. B. Hautausschlag, Magen-Darm-Beschwerden oder Atembeschwerden (SCHRODT, 1997; RICHARDSON, 1998).

Die Diagnose einer Schimmelpilzallergie ist oft schwierig, da zum einen die Schimmelpilzallergene von komplizierter Natur und zum anderen die meisten schimmelpilzempfindlichen Menschen auch gegen andere Inhalationsallergene wie Hausstaub, Hausstaubmilben, Pollen und Tierhaare allergisch sind (SCHRODT, 1997).

3.5.3. Nichtallergische toxische Erkrankungen

Hierzu gehört die toxische Alveolitis oder Organic Dust Toxic Syndrom (ODTS), auch als Drescherfieber bezeichnet. Diese Erkrankung tritt akut mit grippeähnlichen Erscheinungen während oder einige Stunden nach der Exposition auf und wird durch hohe Konzentrationen von organischem Feinstaub verursacht. Ätiologisch kommen vor allem die Mykotoxine von Schimmelpilzen und die Endotoxine von Bakterien in Frage, da toxische Stoffwechselprodukte zu entzündlichen Vorgängen an den Schleimhäuten führen können.

3.5.4. Infektionen durch Schimmelpilze

Infektionen durch Sprosspilze, Schimmelpilze und Dermatophyten werden als Mykosen bezeichnet. Die Mykosen treten mit uncharakteristischen Allgemeinsymptomen wie Fieber, Abgeschlagenheit und Gewichtsverlust in Erscheinung. Die Schimmelpilzmykosen entstehen nur nach Schwächung des Immunsystems und werden daher auch „Krankheit der Kranken“ genannt (MÜCKE und LEMMEN, 1999; SENKPIEL et al., 1999).

Aspergillosen

Aspergillosen werden vor allem durch den Erreger *Aspergillus fumigatus*, ferner auch durch *Aspergillus flavus* und *Aspergillus niger* verursacht. *Aspergillus fumigatus* wächst bei der Körpertemperatur von 37°C optimal, produziert das Gliotoxin (immunsuppressive Wirkung) und das Restriktotoxin (Hemmung der Proteinsynthese der Wirtszelle) und scheidet Proteasen aus. In bronchiektatischen Kavernen, Zysten und Tumoren können kugelförmige nicht invasive lokal begrenzte Pilzansiedlungen (Aspergillome) entstehen. Insbesondere bei Patienten mit Immundefekten treten in den letzten Jahren häufiger Lungen-Aspergillosen auf.

Mucormykosen und Hautmykosen

Mucormykosen werden durch die Köpfchenschimmel *Mucor*, *Rhizopus*, *Rhizomucor* und *Absidia* verursacht und sind in den letzten Jahren häufiger geworden (STAIB, 1992).

Die exogene Infektion der Haut wird meist durch Dermatophyten hervorgerufen. Schimmelpilze (z. B. *Mucor*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Rhizopus*) können nur bei vorgeschädigter Haut, wie z. B. nach Verbrennungen, Infektionen verursachen.

3.5.5. Mykotoxine und Mykotoxikosen

3.5.5.1. Allgemeines

Pilze produzieren verschiedene sekundäre Metaboliten als Stoffwechselprodukte wie z. B. die Mykotoxine. Die Produktion der Mykotoxine beginnt mit der Sporulation. Über 100 Substanzen, die von über 200 Pilzarten gebildet werden können, sind heute bekannt (KELLER et al., 1998). Bei Abnahme des Nährstoffangebotes, d. h. wenn die exponentielle Wachstumsphase in die stationäre Wachstumsphase übergeht, werden die Mykotoxine produziert. Die nicht flüchtigen Toxine werden entweder in das umgebende Medium abgegeben oder verbleiben in den Myzelien und Sporen.

Die Mykotoxikosen wurden insbesondere durch die Aufnahme schimmeligem Getreideprodukte und auch durch endemische Erkrankungen bei Nutztieren infolge von verschimmeltem Futter bekannt. Es wird berichtet, dass toxinogene Pilzsporen unter anderem von *Aspergillus*-, *Fusarium*- und *Penicillium*arten produziert werden und deren Toxine chemisch vor allem Cumarinderivate, Steroide und Alkaloide darstellen, welche zumeist eine hemmende Wirkung auf die Proteinsynthese besitzen (JOHANNING, 1998; MAES, 1999; SENKPIEL und OHGKE, 2001). Mit einer akuten Intoxikation durch Aufnahme toxinogener Pilzsporen ist bei einer Pilzkeimkonzentration $< 1000 \text{ KBE/m}^3$ Luft pro Spezies allerdings nicht zu rechnen (MORISKE, 2001). Zu den Mykotoxinen werden u. a. gezählt: das Ochratoxin, Patulin, Aflatoxin, Gliotoxin, die Trichothecene und Fumonisine.

Trichothecene stellen eine große Gefahr für die Gesundheit des Menschen und der Tiere dar, da sie neurotoxische, immunsuppressive, hämorrhagische, teratogene und dermatotoxische Eigenschaften besitzen (CREASIA et al., 1987; NIKULIN et al., 1996b; MÜCKE und LEMMEN, 1999).

Es sind u. a. folgende wichtige Effekte der Mykotoxine bekannt (s. Tabelle 5).

Mykotoxin	Effekte
Aflatoxine :	Leberschädigungen (Zirrhosen), Leberkarzinom, immunsuppressive Effekte, Lungenkrebs (MASSEY et al., 1995)
Ochratoxin A:	nierenschädigende Wirkung, Verdacht auf Auslösung der „Balkan endemic nephropathy“ (BEN), Beeinflussung des Immunsystems, teratogene, gentoxische und krebserzeugende Wirkung (WHO, 1990b)
Fumonisine :	starkes Nierengift, hepatotoxisch, Ösophaguskrebs, Toxine aus <i>Fusarium moniliforme</i> wurden von der IARC (International Agency for Research and Cancer) als möglicherweise Krebs erregend für Menschen eingestuft (CASTEGNARO und WILD, 1995)
Patulin:	Zellgift, bei Versuchstieren Ödeme und Blutungen in Lunge und Gehirn, Kapillarschäden in Leber, Milz und Nieren
Trichothecene :	Immunsuppression (CORRIER und WAGNER, 1988) auf Grund zytotoxischer Wirkung auf das Knochenmark, dermatotoxisch, schwere Leukopenie (UENO, 1983), teratogene Wirkung (MÜCKE und LEMMEN, 1999)

Tab. 5: Mykotoxine und ihre Effekte

Die Mykotoxine können organ- und gewebespezifische Wirkungen, wie z. B. Hepatotoxizität, Nephrotoxizität, Kardiotoxizität, Dermatotoxizität, Neurotoxizität und Pulmotoxizität, sowie systemische Wirkungen, wie Immunsuppression, Embryotoxizität, Teratogenität und Kanzerogenität, besitzen (DGE, 1996).

Nach MÜCKE und LEMMEN (1999) besitzt der Schimmelpilz *Aspergillus fumigatus* die stärkste pathogene Potenz, da er Allergien auslöst, bei disponierten Personen tiefe Organmykosen verursacht, eine Reihe von Mykotoxinen bildet (LAND et al., 1987) und bei experimentellen Untersuchungen Lungenerkrankungen mit eosinophilen Granulomen hervorrief (KURUP et al., 1990).

3.5.5.2. Exposition in Wohnungen, Bürogebäuden und Kindereinrichtungen

Da die Mykotoxine hauptsächlich in den Sporen der Schimmelpilze vorkommen (SORENSEN et al., 1987), werden sie auch mit den Sporen eingeatmet. Vor allem Arbeiter in der Landwirtschaft und in erdnussverarbeitenden Betrieben sind den Mykotoxinen ausgesetzt, welche die allgemeine Krebsmortalität sowie die Lungenkrebsmortalität, Leber- und Gallenblasenkrebsmortalität erhöhen und akute nierentoxische Schädigungen hervorrufen können (z. B. DI PAOLO et al., 1993; HENDRY und COLE, 1993; LAPPALAINEN et al., 1996). Endemische Leberschäden kamen im früheren Jugoslawien gehäuft vor und es wurden dort nierentoxische Stämme von *Penicillium* aus Luftproben isoliert (MACGEORGE und MANTLE, 1991).

In Wohnungen und Bürogebäuden wurden ebenfalls in der Innenraumluft Mykotoxine gefunden. MILLER et al. (1988) wiesen in mit *Aspergillus fumigatus* belasteten kanadischen Wohnungen Mykotoxine in Staubproben nach. MÜLLER und HERBARTH (1999) fanden heraus, dass ein Sporenextrakt u. a. von *Aspergillus fumigatus* toxische Effekte auf den Stoffwechsel eines tierischen Zellsystems (Ziliaten) hat. Sie leiteten daraus ab, dass dieser Effekt die Ursache von Gesundheitsstörungen der Bewohner von schimmelbelasteten Räumen sein könnte wie z. B. Reizungen der Schleimhäute, trockener Husten oder Kopfschmerzen.

Der Indikatorpilz für massive Wasserschäden in Gebäuden *Stachybotrys atra* ist mit am meisten untersucht worden. Er lässt sich in Baumaterialien und selten in Luftproben von feuchten Räumen finden (CROFT et al., 1986; JOHANNING et al., 1996). Gemäß NIKULIN et al. (1994) wächst der toxinbildende Pilz *Stachybotrys atra* auf zellulosehaltigen Baumaterialien ab einer relativen Luftfeuchte von 84%. Die Sporen von *Stachybotrys atra* liegen in einer sehr feuchten schleimigen Masse vor und geraten erst nach vollständiger Trocknung in die Luft. In einem Haus, in dem Angestellte schon einige Jahre an schweren chronischen Gesundheitsstörungen litten, wurde in den Baumaterialien eine sehr hohe Konzentration von *Stachybotrys atra* und die von ihm produzierten Trichothecene nachgewiesen, welche die Vergiftung verursacht hatten (CROFT et al., 1986; JOHANNING et al., 1996).

JOHANNING et al. (1996) weisen darauf hin, dass Gesundheitsstörungen von Bewohnern oder Angestellten in mit *Stachybotrys atra* kontaminierten Gebäuden mindestens zum Teil durch die aufgenommen Trichothecene verursacht sind. NIKULIN et al. (1996a) isolierten verschiedene Stämme von *Stachybotrys atra* auf Baumaterialien und in Luftproben in feuchtebelasteten Wohnhäusern und Kindergärten und stellten fest, dass 90% von den Stämmen toxisch auf Zellkulturen wirkten. Weiterhin kamen bei Kindern, welche in mit *Stachybotrys atra* belasteten Häusern wohnten, akute Lungenblutungen vor (MONTANA et al., 1997). Da die Bewohner von wassergeschädigten Häusern an Gesundheitsstörungen litten, untersuchten ANDERSON et al. (1997) die Baumaterialien und isolierten *Stachybotrys*-Toxine, bakterielle Endotoxine und α -D-Glukane. Beta-D-Glukane, welche Zellwandbestandteile vieler Pilze und Pilzsporen sind, können das Immunsystem beeinflussen (RYLANDER und JACOBS, 1994).

3.5.6. Flüchtige organische Verbindungen (FOV, MVOC)

Der unangenehme modrige oder muffige Geruch der Schimmelpilze wird durch flüchtige organische Verbindungen (FOV) oder auf englisch microbial volatile organic compounds (MVOC) verursacht. Die Pilze produzieren eine Vielzahl von Stoffwechselprodukten, die als MVOC in die Umgebung abgegeben werden. Bei den Substanzen handelt es sich vor allem um Alkanole, Alkenole, Ketone, Terpene, Ether und Thioverbindungen. Die meist geringen Konzentrationen liegen im Mikrogramm-Bereich.

STRÖM et al. (1994) untersuchten Wohnungen mit Schimmelpilzwachstum, deren Bewohner an Gesundheitsstörungen litten, und wiesen MVOC in einer Gesamtkonzentration bis zu $51,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Raumluft nach. Laut STRÖM et al. (1994) wird der muffig-modrige Schimmelpilzgeruch vor allem durch die zwei Verbindungen 1-octen-3-ol und 2-octen-1-ol verursacht. Die höchste Konzentration des 2-octen-1-ol betrug rund $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und wurde in einer stark verschimmelten Wohnung und in einer Wohnung mit früheren Schimmelschäden nachgewiesen (SAGUNSKI, 1997a). Gemäß STRÖM et al. (1994) können die MVOC eventuell Gesundheitsstörungen wie Schleimhautreizungen der Augen und der oberen Atemwege sowie Hautreizungen auslösen. Allerdings ist noch sehr wenig über die toxikologischen Eigenschaften dieser Substanzen bekannt. KREJA und SEIDEL (2001) führten eine Untersuchung hinsichtlich Toxizität von MVOC durch und konnten weder eine genotoxische noch mutagene Wirkung nachweisen. Allerdings wurden bis jetzt nur wenige Substanzen aus einer Gruppe von mehreren 100 MVOC auf ihre zytotoxische Wirkung hin getestet.

LEHMANN et al. (2001) führten eine Studie an drei Jahre alten Kindern hinsichtlich Exposition gegenüber MVOC und allergischer Sensibilisierung durch. Sie konnten zeigen, dass das Risiko der allergischen Sensibilisierung gegenüber den Allergenen in Milch und Eiern auf das Vorhandensein von Alkanen und Aromaten zurückzuführen ist.

BÖCK (2001) führte eine Literaturstudie zur sensorischen Wirkung der MVOC durch und fand heraus, dass die Raumluftkonzentration einzelner MVOC unterhalb der bislang bekannten Geruchsschwelle und auch deutlich niedriger als der Reizschwellenwert für die Irritation von Schleimhäuten (Auge, Nase) liegt. HERR und HARPEL (2001) weisen darauf hin, dass bei jeder Bewertung der MVOC nicht die Wirkung des gesamten MVOC-Gemisches, welches messtechnisch nur sehr eingeschränkt erfasst werden kann, unterschätzt werden darf. Außerdem existiert häufig neben den MVOC von Mikroorganismen auch eine Exposition gegenüber von Raumgegenständen abgegebenen flüchtigen Verbindungen und weiteren biologischen Luftbestandteilen und diese gleichzeitige Exposition gegenüber allen Gemischen

kann in Innenräumen zu den von Bewohnern beschriebenen Gesundheitsstörungen führen (HERR und HARPEL, 2001).

3.5.7. Expositionsabschätzung

Obwohl sich alle Autoren über die gesundheitlichen Gefahren für die Bewohner schimmelpilzbefallener Wohnungen einig sind, gibt es nur ansatzweise Untersuchungsmethoden für eine Expositionseinschätzung. Allerdings besteht auch noch keine Einigkeit darüber, wie die Exposition der Bewohner zu messen und zu bewerten ist. Die tatsächliche Gesundheitsgefahr durch Schimmelpilze ist trotz moderner Untersuchungsmethoden nur sehr schwer einzuschätzen, da für ein mögliches Allergierisiko sowie für eventuelle toxische Schädigungen noch keine begründeten Grenzwerte vorhanden sind. Deswegen sollte zur Grenzwertermittlung die Aufstellung von Dosis-Wirkungsbeziehungen durch weitere wissenschaftliche Untersuchungen erfolgen. Jedoch kann eine wohnhygienische Beurteilung des Schimmelpilzbefalls auf Grundlage von Orientierungswerten in Kombination mit einer Ortsbegehung und Umgebungsanalyse durchgeführt werden. Die gesundheitliche Bewertung der aufgenommenen Allergene ist allerdings kompliziert, da sich bei prädisponierten Personen sowohl die Schwellenallergenkonzentration mit der Länge der Expositionszeit als auch die individuelle Empfindlichkeit und Reagibilität verändern kann (SENKPIEL und OHGKE, 2001). Mit Sicherheit ist zu sagen, dass durch das Vorhandensein von toxinogenen Stachybotryssporen in schimmelpilzbefallenen Gebäuden schon bei niedrigen Konzentrationen und längerer Exposition toxische Wirkungen für das Immunsystem auftreten können (LAND et al., 1994; SENKPIEL et al., 2000).

3.6. Maßnahmen zur Prophylaxe und Bekämpfung von Schimmelpilzbefall in Gebäuden

3.6.1. Prophylaxe

Um einen Schimmelpilzbefall in Gebäuden zu verhindern, muss unbedingt eine dauerhafte hohe Feuchtigkeit, welche als wichtigster Faktor für ein optimales Wachstum gilt, vermieden werden. Es wird empfohlen, dass die relative Raumluftfeuchtigkeit zur Vermeidung eines mikrobiellen Befalls dauerhaft 65% – 70% nicht überschreiten darf (MORISKE, 2001).

Feuchtigkeit und damit Schimmelbefall können durch nachfolgende Handlungsweisen verhindert werden:

- Feuchte Baumaterialien dürfen nicht eingebaut werden.
- Neu gebaute Häuser sollten vor dem Erstbezug ausreichend ausgetrocknet werden.
- Das direkte Eindringen von Feuchtigkeit in Gebäude ist zu verhindern.
- Eine Kondenswasserbildung durch Taupunktunterschreitung muss vermieden werden (keine Wärmebrücken, ausreichende Lüftung und Raumtemperatur, Beschränkung der Feuchtigkeitsentwicklung).
- Die Innenräume sollten ausreichend und richtig gelüftet werden gemäß nachfolgender Empfehlungen (EICKE-HENNIG, 2000):
 - Querlüftung bevorzugen
 - gleichmäßige und ausreichende Durchlüftung anstreben
 - auch bei Abwesenheit der Bewohner oder Nichtbenutzung des Raumes Lüftung mit Frischluft gewährleisten
- Die Oberflächentemperatur der Bauteile kann durch zusätzliche ausreichende Wärmedämmung erhöht werden (SCHRODT, 1997).

Da Vorbeugemaßnahmen wirtschaftlicher sind als Sanierungsmaßnahmen werden von SCHRODT (1997) folgende Methoden empfohlen:

- Richtige Materialwahl an baulichen Schwachstellen (anorganische Materialien wie Kalkputze anstatt Tapeten) und in Nassräumen (keine dichten Baustoffe wie Fliesen im ganzen Raum, mindestens in der oberen Raumhälfte feuchtespeichernde Putze).
- Für das Heizen sollten folgende Richtwerte gelten: Wohnräume 20°C – 22°C, Schlaf- räume 16°C – 18°C.
- Die Türen zu kälteren bzw. weniger beheizten Räumen sollten geschlossen bleiben.
- Nicht ständig genutzte und unbeheizte Räumen müssen zumindest zeitweise beheizt und belüftet werden.
- Es sollte richtig gelüftet werden, das heißt kurzzeitige Stoßlüftung mit ganz geöffnetem Fenster bzw. Durchzugslüftung. Dabei sollte auf die klimatischen Randbedingungen geachtet werden: im Winter 2 bis 4 mal 5 Minuten, in der Übergangszeit 2 bis 4 mal 15 Minuten und im Sommer 2 bis 4 mal 30 Minuten täglich lüften.
- Möbelstücke oder andere Einrichtungsgegenstände sollten mindestens 5 cm Abstand von den Außenwänden haben und ausreichend umlüftet werden.

- Die Wärmeabgabe von Heizkörpern sollte nicht durch Möbel, Vorhänge oder Bekleidungen verhindert werden.
- Die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte sollten regelmäßig kontrolliert werden.
- Außendämmung sollte der Innendämmung vorgezogen werden. Bei Innendämmung ist das Eindringen der feuchten Raumluft in die Wand durch Dampfsperren (Folien) zu verhindern.
- Ein großer Pflanzenbestand ist zu vermeiden (SENKPIEL et al., 1999).

KLOPFER (1999) empfiehlt zum Schutz der Bauteile vor Einwirkungen von freiem Wasser einige Maßnahmen, wie z. B. Abdichten von Bauteilen, Hydrophobierung von Baustoffen, sinnvolle Materialwahl, Schichtenfolge, Dampfbremsen und Luftschichten.

In einem Vier-Personen-Haushalt werden täglich ungefähr 14 kg Wasser produziert durch Atmung und Transpiration sowie durch Waschen, Duschen, Baden, Kochen, Abwaschen, Wischen u. a. Durch weitere Feuchtigkeitsquellen wie Luftbefeuchtungsgeräte, Tierhaltung und Pflanzenhaltung wird noch mehr Wasserdampf erzeugt. Bei normaler Nutzung werden in einer Wohnung stündlich ungefähr $3 \text{ g/(h} \times \text{m}^3)$ Feuchte produziert (SCHRODT, 1997; EICKEHENNIG, 2000). Um die so entstandene Feuchtigkeit hinreichend abzuleiten, sollte die Innenraumluft 1/2 bis 1 mal pro Stunde durch Frischluftzufuhr erneuert werden, d. h. die Luftwechselzahl sollte in jedem Raum 0,5 – 1,0 betragen.

3.6.2. Erkennung und Bekämpfung

3.6.2.1. Ortsbegehung

Um einen Schimmelpilzbefall und die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen einzuschätzen, sollte zuerst eine Ortsbegehung stattfinden.

Während dieser Begehung sind folgende Handlungsweisen möglich: visuelle Schadensermittlung, Entnahme von Oberflächen-Abklatsch-Proben und ggf. Tupferproben zur Kultivierung und Analyse der Schimmelpilze, Durchführung von quantitativen und qualitativen Messungen der Luftsporenkonzentration, Ermittlung der Ursache des Befalls (baulich bedingt, nutzungsbedingt), Erhebung von Klimadaten im Innenraum und in der Außenluft, ggf. Baufeuchtemessungen und Entnahme von Bohrkernen.

3.6.2.2. Bekämpfung

Für eine dauerhafte Beseitigung von Schimmelpilzen sollten stets vor einer Schimmelpilz-bekämpfung die Ursachen des Befalls (z. B. Baumängel und Schwachstellen bei Feuchteschäden) beseitigt und schimmelpilzbefallene Materialien (z. B. Holz, Tapeten, Dispersionsfarben, Kunststoff-Rauputze, Elastohmerdichtungen) vollständig entfernt werden (OHGKE, 1997; SCHRODT, 1997; MORISKE, 2001; WUTTKE und EICHORN, 2001). Erst danach ist der Einsatz von chemischen Mitteln sinnvoll.

SENKPIEL und OHGKE (2001) empfehlen zur Bekämpfung von kleinflächigem Schimmelpilz-befall im Haushalt nachfolgende Substanzen: Spiritus, Essigessenz, Salmiakgeist, Kalkmilch bzw. Kalkschlemme, Salzsäure, Alkalische Peressigsäure, Sodalösung und Wasserstoff-peroxid.

Die Anwendung von kommerziell erhältlichen Anti-Schimmelmitteln für den Hausgebrauch wird durch SENKPIEL et al. (1996) abgelehnt. Vom UMWELTBUNDESAMT (1998) wird zur Entfernung von Schimmelpilzen hochprozentiger Alkohol, Isopropanol, Salmiak- und Hydrochloridlösung empfohlen.

4. Eigene Untersuchungen

4.1. Material und Methode

Über einen Zeitraum von 2 Jahren zwischen April 1998 und April 2000 mit Ausnahme der Sommermonate Mai bis August wurden im Rahmen einer prospektiven Studie die Ursachen von Feuchtigkeit und Schimmelpilzbildung in Innenräumen und deren Auswirkungen auf die Gesundheit der Bewohner untersucht. Insgesamt wurden 55 feuchte Wohnungen und 20 trockene Vergleichswohnungen im Raum Jena und Umgebung einbezogen. Die Mieter der Wohnungen meldeten sich größtenteils selbst auf ein vom Institut für Allgemeine, Krankenhaus- und Umwelthygiene aufgegebenes Zeitungsinserat (87,3% aller Wohnungen). Weitere Wohnungen wurden durch Gesundheitsämter (5,5%) und durch Patienten mit positiver Schimmelpilzallergie (7,3%) ermittelt.

Da die Wohnungen nicht durch Zufallsauswahl rekrutiert wurden, ist die Studie zwar nicht repräsentativ, aber trotzdem aussagekräftig, weil hier erstmalig Wohnungen und Vergleichswohnungen mit einem neu entwickelten umfangreichen Frage-, Mess-, Probennahme- und Inspektionsprogramm untersucht wurden. Außerdem ist beabsichtigt, aus der Vielzahl der in der Literatur diskutierten Einflussfaktoren auf Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall in Wohnungen die entscheidenden Variablen für spätere weitergehende Untersuchungen zu ermitteln.

Drei Viertel der feuchten Wohnungen (74,5%) befanden sich im Stadtgebiet Jena und die übrigen in der Umgebung von Jena (20% in einem Dorf [Einwohner < 5.000] und 5,5% in einer Kleinstadt [5.000 – 50.000 Einwohner]). Abbildung 1 zeigt die Wohnungsverteilung in bezug auf die Landkreisnummer bzw. Postleitzahl.

90% der trockenen Vergleichswohnungen waren direkte Nachbarwohnungen (identische Geschosshöhe) von feuchten und schimmeligen Wohnungen und 10% lagen im gleichen Haus wie die entsprechende feuchte Wohnung. Leider erklärten sich nur weniger als die Hälfte der Bewohner von trockenen Nachbarwohnungen für die Untersuchung bereit, so dass insgesamt nur 20 Vergleichswohnungen untersucht werden konnten.

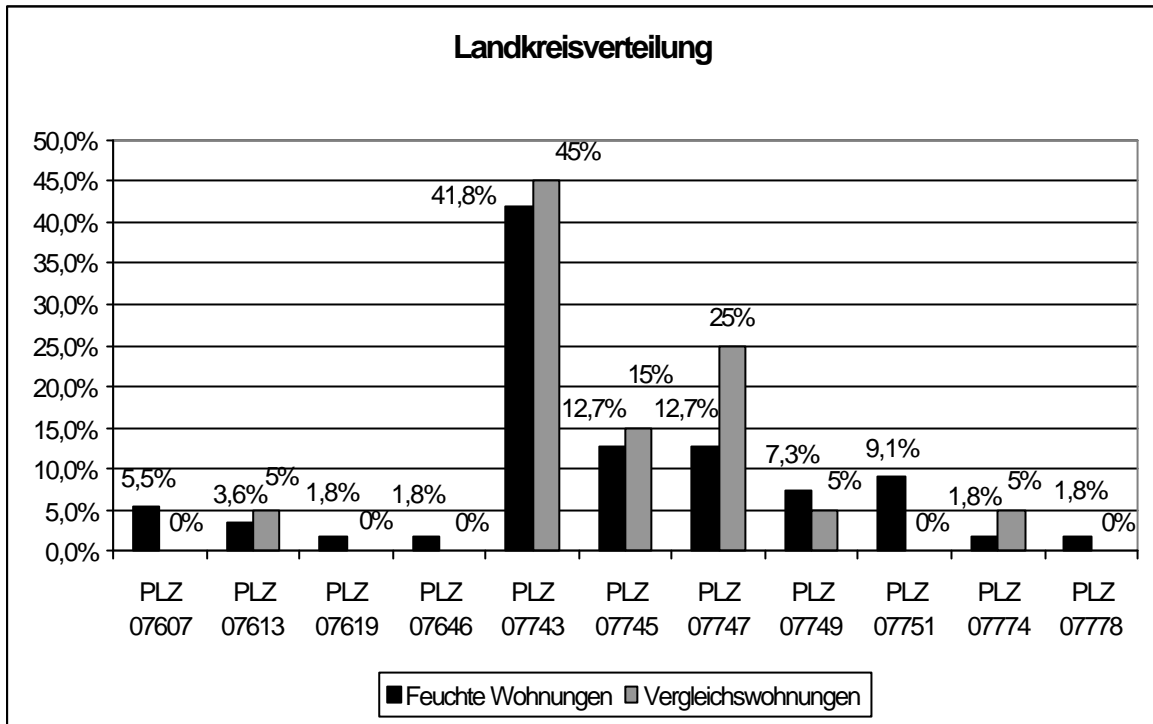


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Landkreisnummern nach Postleitzahl (PLZ)

Die Untersuchung gliederte sich in 2 Teile:

1. Teil: Durchführung von standardisierten Messungen und Probenahmen

Um die Pilzsporenkonzentrationen und die Pilzgattungen in der Luft sowie an Oberflächen zu ermitteln, wurden folgende Proben entnommen:

- In feuchten Wohnungen:
 - Luftproben (je 2 mal): Außenluft, Innenraumluft in befallenen Räumen, Innenraumluft erster und zweiter nicht befallener Raum
 - Abklatschproben (je 2 mal): in befallenen Räumen eine befallene und eine nicht befallene Stelle, im ersten nicht befallenen Raum eine nicht befallene Stelle
- In trockenen Vergleichswohnungen:
 - Luftproben (je 2 mal): in einem vergleichbaren Raum
 - Abklatschproben (je 2 mal): an einer vergleichbaren Stelle

Die Wohnungen durften am Messtag mindestens zwei Stunden vor und auch während der Messung nicht gelüftet werden. Die Luftproben wurden mittels eines Luftkeimsammlers, dem Impaktor FH 3 der DEHA HAAN & WITTMER GmbH, entnommen. Während der zweiminütigen Messung, welche in Sitzhöhe (1,0 m) stattfand, wurden 100 l Luft angesaugt und auf einer mit Malzextrakt-Agar gefüllten Petrischale (94 mm x 16 mm, Firma Greiner

Labortechnik) verteilt. Dabei drehte sich die Petrischale einmal um ihren Mittelpunkt. Die Abklatschuntersuchungen wurden mit einer mit Malzextrakt-Agar angefüllten Kontaktschale (60 mm x 15 mm, 25 cm² Fläche, Firma Greiner Labortechnik) durchgeführt. Dabei wurde versucht ein möglichst großes Areal der mit Schimmel befallenen Stelle mit der Kontaktschale zu erfassen.

Als Nährboden wurde herkömmlicher Malzextrakt-Agar in einer Zusammensetzung von 30,0 g/l Malzextrakt, 3,0 g/l Pepton aus Sojamehl und 15,0 g/l Agar-Agar verwendet und nach Vorschrift zubereitet. Zusätzlich wurde pro Liter Malzextrakt-Agar 1 ml Gentamicin zugegeben um das Bakterienwachstum zu hemmen.

Alle Agarplatten wurden nach der Untersuchung bei einer Temperatur von 20°C bebrütet (Kühlbrutschrank der Firma Binder). Nach 2 bis 3 Tagen waren die Kulturen sichtbar, welche zunächst quantitativ (Koloniezahl) und nach weiterer Bebrütung qualitativ untersucht wurden. Die Identifizierung der Gattung fand mittels eines Stereomikroskops für die Kulturen auf der Agarplatte und mit Hilfe des Mikroskops „Axiolab“ der Firma ZEISS für Objektträgerpräparate statt. Hefen, die auf den Platten wuchsen, wurden z. T. mit Hilfe der bunten Reihe (System API 20 C AUX der Firma bioMérieux) identifiziert. Die Auswertung der mykologischen Proben erfolgte im mikrobiologischen Labor des Instituts für Allgemeine, Krankenhaus- und Umwelthygiene der Friedrich-Schiller-Universität Jena.

In jedem untersuchten Raum wurde zusätzlich die Temperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und die Wandtemperatur an den Stellen, wo die Abklatschproben erfolgten, gemessen. Die ersten beiden Faktoren wurden auch in der Außenluft ermittelt. Die Messungen wurden mit dem Messgerät Hydromette HTR 300, dem Messfühler RF-T 28 (Temperatur und relative Luftfeuchte) und einer Infrarotsonde der Firma GANN (Wandtemperatur) durchgeführt.

2. Teil: Durchführung eines komplexen standardisierten Frageprogramms

Der umfangreiche Fragenkatalog (siehe Anlage) wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Allgemeine, Krankenhaus- und Umwelthygiene erstellt. Er gliedert sich in die drei Bereiche Wohnumwelt (W), Mikrobiologie (M) und Gesundheit (G) auf. Dabei wurden folgende Faktoren berücksichtigt:

- Bauphysik (z. B. Alter, Höhe und Bausubstanz des Hauses, Heizungssystem, Fensterarten, Wandoberflächen u. a.)
- Wohnverhalten (z. B. Art und Dauer der Lüftung, Häufigkeit des Waschens und Duschens bzw. Badens, Haustierhaltung, Pflanzenbestand u.a.)

- Raumtemperatur, Feuchtigkeit und Schimmelbefall (z. B. vorherrschende Temperaturen, Ort und Ausdehnung von Feuchtigkeit bzw. Schimmelbefall u. a.)
- Gesundheitsstörungen (z. B. Art und Dauer von klinischen Symptomen, Allergien, Zusammenhang mit Aufenthalt in der Wohnung u. a.)

In jeder der 55 feuchten und 20 trockenen Wohnungen wurden mit den Bewohnern die Fragebögen hinsichtlich Wohnumwelt und Mikrobiologie durchgegangen. Der Fragenkatalog „Wohnumwelt“ enthält neben allgemeinen Fragen nach Wohnung bzw. Haus auch Fragen bezüglich des am meisten mit Schimmel befallenen Raumes. Bei trockenen Wohnungen beziehen sich diese Fragen auf einen vergleichbaren Raum bzw. auf den Raum, in dem die Luft- und Oberflächenproben entnommen wurden. Zusätzlich wurde auch eine allgemeine Frage hinsichtlich gesundheitlicher Probleme bei den Bewohnern gestellt. Bei mehr als zwei Drittel der befallenen Haushalte (70,9%) klagten mindestens eine Person über allgemeine Gesundheitsstörungen (ohne weitere Differenzierung). Dem gegenüber geben fast alle Bewohner der nicht befallenen Wohnungen (94,7%) keine gesundheitlichen Probleme an (s. Abbildung 2).

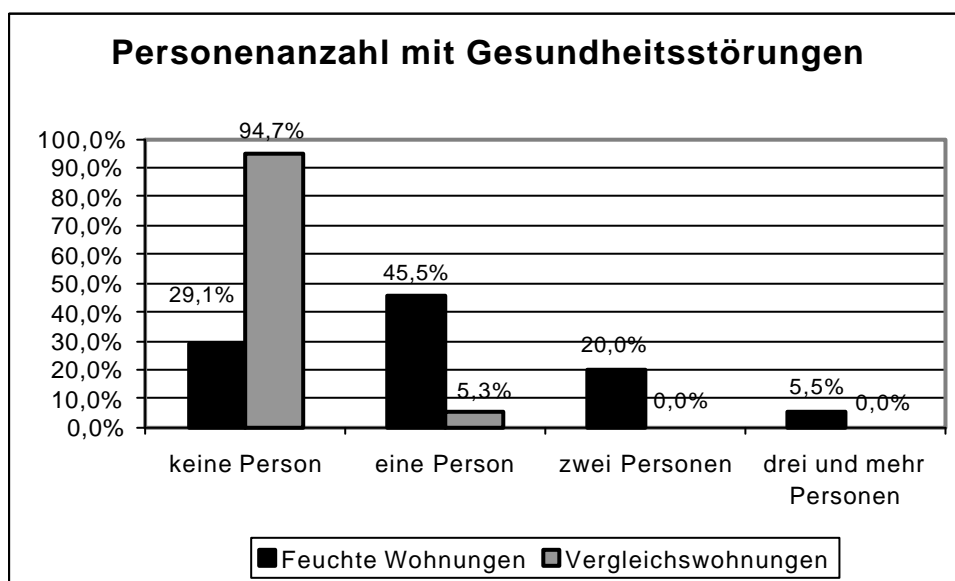


Abb. 2: Personenanzahl mit Gesundheitsstörungen

Der Fragebogen „Gesundheit“ wurde nur durch die Bewohner von feuchten Wohnungen beantwortet. Dabei konnten alle Bewohner einer Wohnung mit gesundheitlichen Problemen an der Befragung teilnehmen, so dass insgesamt 85 Fragebögen in 45 Wohnungen ausgefüllt wurden. Zusätzlich wurde ihnen eine allergologische Untersuchung im Institut für klinische Immunologie angeboten, welche eine Prick-Testung, ggf. Provokationstestung und eine

serologische Untersuchung auf positive IgE beinhaltete. Allerdings nahmen nur 13 von 85 befragten Bewohnern daran teil.

Die Analyse der Daten und die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS 10.0 für Windows. Es erfolgten einfache Häufigkeitsberechnungen und Korrelationsanalysen, welche durch einen Mathematiker durchgeführt wurden. Bei letzteren wurden verschiedene Variablen des Fragespiegels miteinander korreliert, insbesondere wurde die Variable „Anzahl der feuchten Räume“ mit verschiedenen Variablen hinsichtlich Bauphysik, Wohnverhalten und Gesundheitsstörungen, die Variable „Quadratmeter des Befalls“ ebenfalls mit verschiedenen Variablen hinsichtlich Bauphysik, Wohnverhalten und Gesundheitsstörungen, die Variable „durchschnittliche Sporenanzahl in der Luft“ mit verschiedenen Variablen hinsichtlich Gesundheitsstörungen und die Variable „durchschnittliche Sporenanzahl in der Luft“ mit der Variable „Schwere des Befalls“ pro Raum korreliert. Pro Variable werden durch Zusammenfassen von Gruppen bzw. durch Verwendung von Schwellenwerten zwei Klassen gebildet (Dichotomisierung). Die Häufigkeiten der 0- und 1-Klassen ergeben 2 x 2-Kontingenztafeln. Zur Bewertung des Zusammenhanges in diesen Tafeln dient der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r oder auch dessen Quadrat, der sogenannte Kontingenzkoeffizient. In den folgenden Auswertungen wird ausschließlich der Korrelationskoeffizienten r verwendet Er kann sich im Intervall von -1 bis $+1$ bewegen. Wichtige Werte sind hierbei die Signifikanz von r und sein eigentlicher Wert, der den korrelativen Zusammenhang bezeichnet. Er sollte wenigstens $r = 0,5$ bzw. $r = -0,5$ sein, um mindestens einen schwachen Zusammenhang aufzeigen zu können. Bei den durchgeführten Korrelationen zeigte sich jedoch, dass dieser Wert oft nicht erreicht wird. Eine unbedeutende Korrelation kann trotzdem hochsignifikant sein. Hier bedeutet der Werte $\alpha = 0,05$, dass auf dem 5%-Niveau Signifikanz vorliegt. Folgende Einteilung wurde vorgenommen: Ist ein Wert α kleiner gleich $0,01$, so ist das Ergebnis hochsignifikant. Die Korrelation ist signifikant bei einem Wert α zwischen $0,01$ und einschließlich $0,05$ und das Ergebnis ist trendwertig signifikant bei einem Wert α zwischen $0,05$ und einschließlich $0,1$.

Bei den Signifikanzberechnungen einfacher Häufigkeiten wurde der nichtparametrische Mann-Whitney-Test für unabhängige Stichproben (Vergleich trockene Wohnungen mit befallenen Zimmern feuchter Wohnungen und Vergleich trockene Wohnungen mit unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen) und der nichtparametrische Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben (Vergleich befallene Zimmer feuchter Wohnungen mit unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen) angewandt. Die exakte zweiseitige Signifikanz wird als α angegeben, wobei ein Wert α kleiner gleich $0,01$ hohe Signifikanz, ein Wert α zwischen $0,01$

und 0,05 Signifikanz und ein Wert \acute{a} zwischen 0,05 und einschließlich 0,1 trendwertige Signifikanz bedeutet.

Die angegebenen Durchschnittswerte verstehen sich als arithmetische Mittelwerte. Manche Werte können aufgrund von hohen Einzelwerten ebenfalls hoch erscheinen. Wegen besserer Vergleichbarkeit (auch mit der Literatur) wurde die Berechnung arithmetischer Mittelwerte durchgeführt.

4.2. Ergebnisse

4.2.1. Ergebnisse der standardisierten Messung und Probennahme

4.2.1.1. Keimbestimmung und klimatische Parameter

Die quantitative und qualitative Keimbestimmung der Luftproben (Außen- und Innenluft) und der Abklatschproben (befallene und unbefallene Stellen) von feuchten und Vergleichswohnungen ermöglichen einen direkten Vergleich der Ergebnisse.

Die Sporenanzahl in der Außenluft ist für befallene und unbefallene Wohnungen gleich, da die jeweilige Vergleichswohnung immer im gleichen Haus lag und am selben Tag wie die feuchte Wohnung untersucht wurde. Der Durchschnittswert beträgt hier 784 KBE/m³ Luft (n=55). In allen befallenen Zimmern der feuchten Wohnungen mit Ausnahme des Wohnzimmers liegt die durchschnittliche Sporenanzahl der Luft über der in der Außenluft. Die höchsten Luftkeimbelastungen weisen Wohnschlafzimmer mit durchschnittlich 4.033 KBE/m³ Luft (n=3), Küche mit 3.778 KBE/m³ Luft (n=17), Kinderzimmer mit 2.692 KBE/m³ Luft (n=21) und Schlafzimmer mit 2.395 KBE/m³ Luft (n=14) auf. Die Sporenanzahl des Wohnzimmers liegt mit 651 KBE/m³ Luft (n=19) mehr als 100 KBE/m³ Luft unter dem Durchschnittswert der Außenluft.

In den unbefallenen Zimmern der feuchten Wohnungen sind die Sporenanzahlen im Bad/WC und im Kinderzimmer mit 1.009 KBE/m³ Luft (n=8) und 965 KB/m³ Luft (n=13) um gut 150 KBE/m³ Luft höher als in der Außenluft. In den restlichen Räumen liegen die Werte alle unter dem Wert der Außenluft. Die geringsten Sporenanzahlen wurden im Wohnschlafzimmer mit 392 KBE/m³ Luft (n=6) und in der Küche mit 457 KBE/m³ Luft (n=5) gefunden.

In den Räumen der Vergleichswohnungen liegen die Mittelwerte der Sporenanzahl bis auf Flur/Keller/Abstellraum mit 1.540 KBE/m³ Luft (n=1) alle deutlich unter dem Wert der Außenluft. Die niedrigsten Werte wurden in der Küche (222 KBE/m³ Luft, n=5), im Wohnschlafzimmer (233 KBE/m³ Luft, n=2) und Bad/WC (263 KBE/m³ Luft, n=2) gefunden.

Abbildung 3 zeigt die Verteilung der durchschnittlichen Luftkeimzahlen der Außen- und Innenluft eines jeden Raumes von feuchten Wohnungen und Vergleichswohnungen.

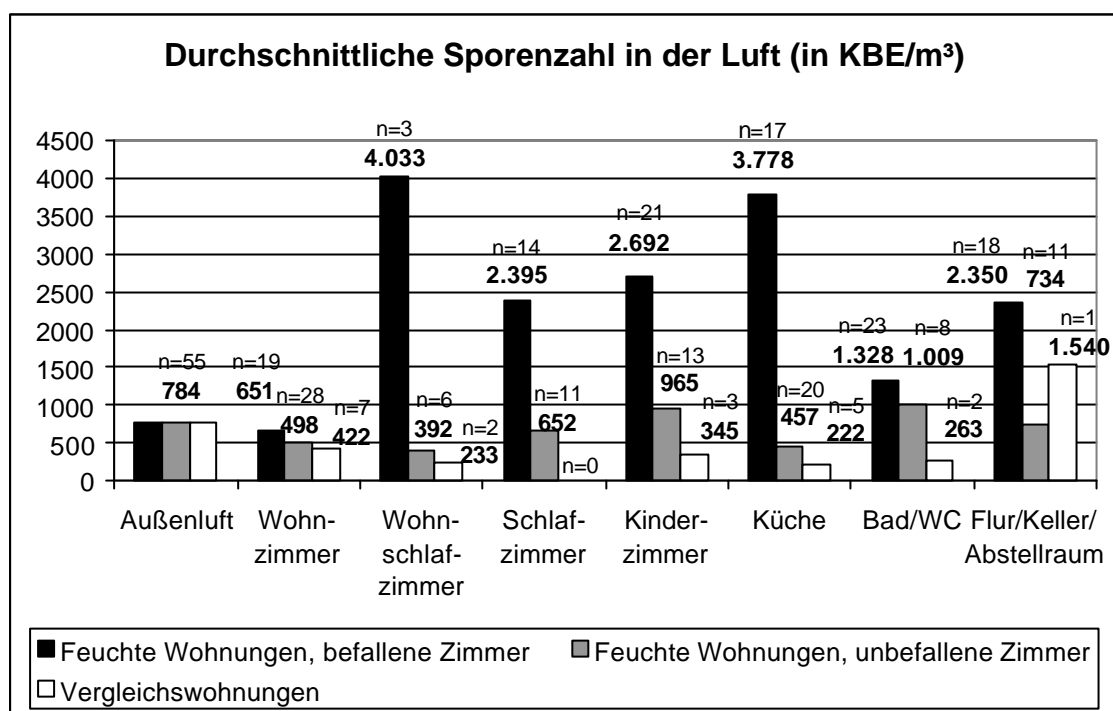


Abb.3: Durchschnittliche Sporenanzahl in der Luft in KBE/m³

Signifikanz (zweiseitig) $\hat{\alpha}$	Gesamte Wohnung	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/ Keller/ Abstellraum
befallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,008	0,87	0,20		0,31	0,04	0,95	0,74
unbefallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,24	0,76	0,64		0,61	0,12	0,10	0,33
befallene/ unbefallene Zimmer	0,000	0,45	0,05	0,12	0,31	0,38	0,14	0,25

Tab. 6: Signifikanzen hinsichtlich der durchschnittlichen Sporenzahlen in den verschiedenen Zimmern der feuchten und Vergleichswohnungen

Die dazugehörigen Signifikanzen sind in Tabelle 6 dargestellt. Hohe Signifikanzen zeigen sich sowohl im Vergleich feuchte Wohnungen/ befallene Zimmer mit feuchten Wohnungen/ unbefallene Zimmer ($\hat{\alpha}=0,000$) als auch im Vergleich feuchte Wohnungen/ befallene Zimmer mit Vergleichswohnungen ($\hat{\alpha}=0,008$) in bezug auf alle Räume in den Wohnungen.

Die Gegenüberstellungen des Raumes „Küche“ in feuchten Wohnungen/ befallene Zimmer und in Vergleichswohnungen ($\hat{\alpha}=0,04$), des Raumes „Wohnschlafzimmer“ in feuchten Wohnungen/ befallene Zimmer und in feuchte Wohnungen/ unbefallene Zimmer ($\hat{\alpha}=0,05$) sowie des Raumes „Bad/WC“ in feuchten Wohnungen/ unbefallene Zimmer und in Vergleichswohnungen ($\hat{\alpha}=0,1$) ergeben Signifikanzen bzw. trendwertige Signifikanzen.

Als einzelne Schimmelpilzgattungen wurden in der Außenluft vor allem Sporen von *Penicillium* mit durchschnittlich 266 KBE/m³ Luft, *Cladosporium* mit 236 KBE/m³ Luft, *Aspergillus* mit 57 KBE/m³ Luft, steriles Myzel mit 393 KBE/m³ Luft, *Rhodotorula* mit 179 KBE/m³ Luft und vereinzelt *Alternaria*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Epicoccum*, *Acremonium*, *Candida*, *Geotrichum* und Pilze aus der Gruppe der Pyknidiales nachgewiesen.

Die am häufigsten vorkommenden Pilzgattungen in der Innenraumluft von befallenen Zimmern feuchter Wohnungen waren *Aspergillus* mit durchschnittlich 1.702 KBE/m³ Luft, *Penicillium* mit 713 KBE/m³ Luft und *Cladosporium* mit 187 KBE/m³ Luft. Weiterhin wurden noch *Rhodotorula*, *Candida*, *Acremonium*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Alternaria*, steriles Myzel, *Stemphylium*, *Epicoccum*, *Mucor*, *Rhizopus* und Pilze aus der Gruppe der Pyknidiales in geringeren Konzentrationen gefunden.

In unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen wurden überwiegend Sporen der Schimmelpilzgattungen *Aspergillus* mit durchschnittlich 779 KBE/m³ Luft, *Penicillium* mit 498 KBE/m³ Luft, *Cladosporium* mit 104 KBE/m³ Luft und in geringen Mengen *Fusarium*, *Acremonium*, *Rhodotorula*, *Epicoccum*, *Botrytis*, *Candida*, steriles Myzel, *Alternaria* und *Mucor* gefunden.

In der Innenraumluft von Vergleichswohnungen befanden sich hauptsächlich die Schimmelpilzsporen von *Penicillium* mit durchschnittlich 137 KBE/m³ Luft, *Cladosporium* mit 92 KBE/m³ Luft, *Aspergillus* mit 50 KBE/m³ Luft und vereinzelt *Alternaria*, *Rhodotorula*, *Candida*, Pilze aus der Gruppe der Pyknidiales, steriles Myzel, *Epicoccum*, *Fusarium* und *Botrytis*.

Abbildung 4 fasst die am häufigsten vorkommenden Pilzgattungen in der Außenluft sowie in der Innenraumluft der feuchten und der Vergleichswohnungen zusammen.

Bei der Wohnungsbegehung wurden die aktuelle Außentemperatur, die relative Außenluftfeuchte, die Innentemperatur und relative Innenluftfeuchte eines jeden untersuchten Raumes und die Wandtemperatur von der jeweils untersuchten befallenen und/bzw. unbefallenen Stelle am Ort der Probenahme gemessen. Die klimatischen Parameter

unterscheiden sich nicht wesentlich zwischen feuchten und trockenen Wohnungen. Während die Lufttemperatur in feuchten und Vergleichswohnungen fast übereinstimmt, ist die relative Luftfeuchte in den befallenen und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen höher als in den Vergleichswohnungen.

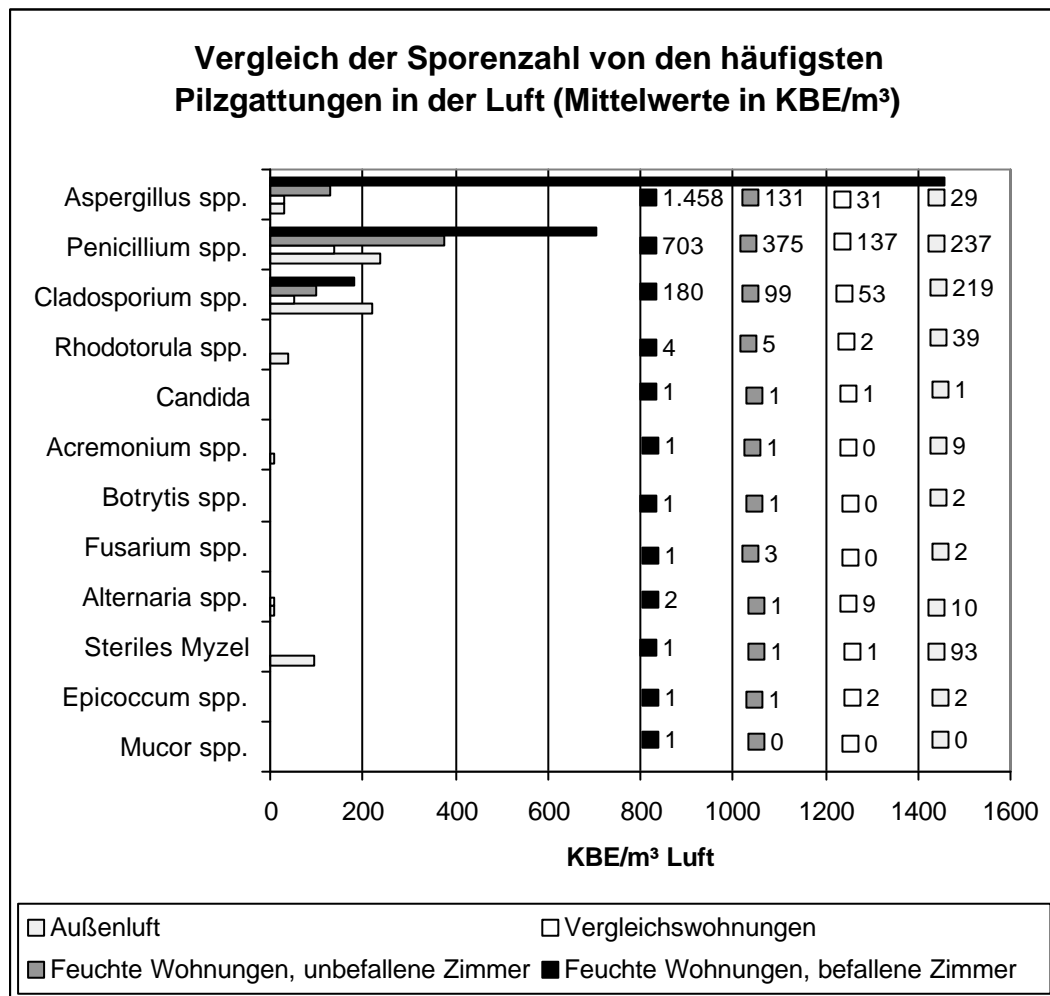


Abb. 4: Vergleich der Sporenzahl (Mittelwerte) von den häufigsten Pilzgattungen in der Luft in KBE/m³

Die durchschnittliche Lufttemperatur betrug in der Außenluft 8,6°C, in den befallenen Zimmern feuchter Wohnungen 21,0°C, in den unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen 21,3°C und in den Vergleichswohnungen 21,0°C. Die relative Luftfeuchtigkeit war in der Außenluft mit 56,6% am höchsten. In den befallenen Zimmern feuchter Wohnungen wurden im Durchschnitt 50,6%, in den unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen 48,2% und in den unbefallenen Wohnungen 46,9% gemessen. In den befallenen Zimmern feuchter Wohnungen zeigte sich ein deutlicher Unterschied von durchschnittlich 2,1°C zwischen der Wandtemperatur der befallenen und der unbefallenen Stelle. Veranschaulichend ist dies in Abbildung 5 dargestellt.

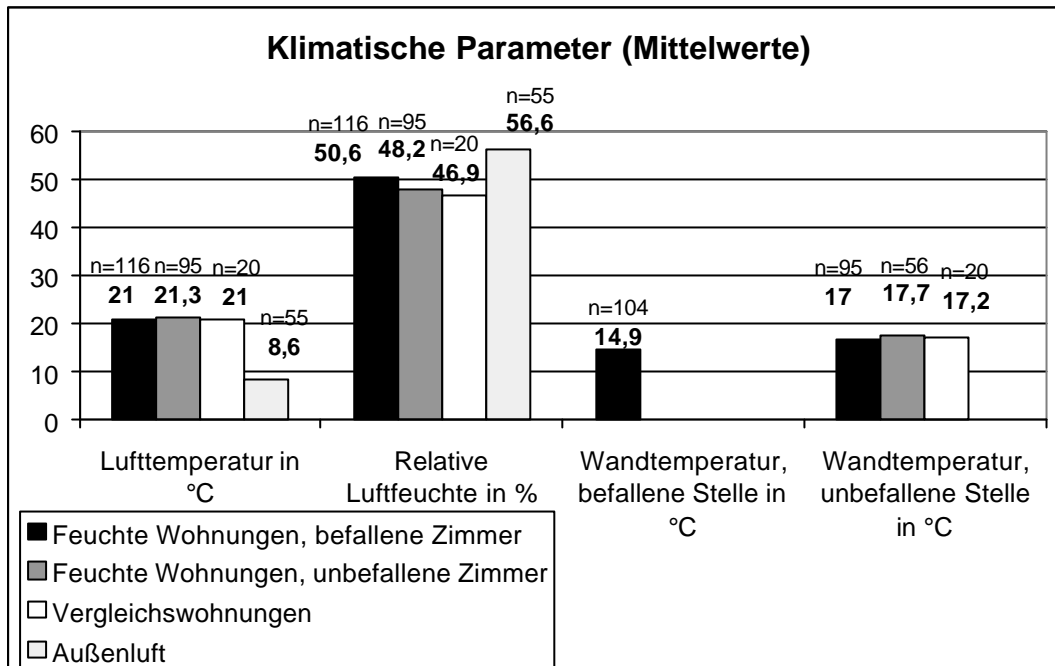


Abb. 5: Klimatische Parameter (Mittelwerte) von der Außenluft, feuchten und Vergleichswohnungen

Signifikanz (zweiseitig) \hat{a}	Lufttemperatur	relative Luftfeuchte	Wandtemperatur, unbefallene Stelle
befallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,59	0,13	0,13
unbefallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,57	0,96	0,76
befallene/ unbefallene Zimmer	0,007	0,000	0,001

Tab. 7: Signifikanzen hinsichtlich der klimatischen Parameter in feuchten und Vergleichswohnungen

Tabelle 7 informiert über die Signifikanzen bezüglich der Parameter Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Wandtemperatur der unbefallenen Stelle. Hohe Signifikanzen wurden für den Parameter „relative Luftfeuchte“ zwischen befallenen und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen ($\hat{a}=0,000$) und für den Parameter „Wandtemperatur/ unbefallene Stelle“ zwischen befallenen und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen ($\hat{a}=0,001$) festgestellt. Eine Signifikanz zeigte sich auch für den Parameter „Lufttemperatur“ zwischen befallenen Zimmern und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen ($\hat{a}=0,007$).

In den befallenen Zimmern feuchter Wohnungen wurde im Flur/ Keller/ Abstellraum mit 16,6°C die niedrigste und im Wohnschlafzimmer mit 23,1°C die höchste Lufttemperatur gemessen. Dagegen herrschte in den unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen im Wohnschlafzimmer mit 20,5°C die kleinste und im Bad/WC mit 22,7°C die größte Lufttemperatur und in den Vergleichswohnungen zeigte das Bad/WC mit 19,8°C die tiefste und

die Küche mit 23,1°C die höchste Lufttemperatur. Eine Übersicht der vorherrschenden Lufttemperaturen der verschiedenen Räume gibt Abbildung 6.

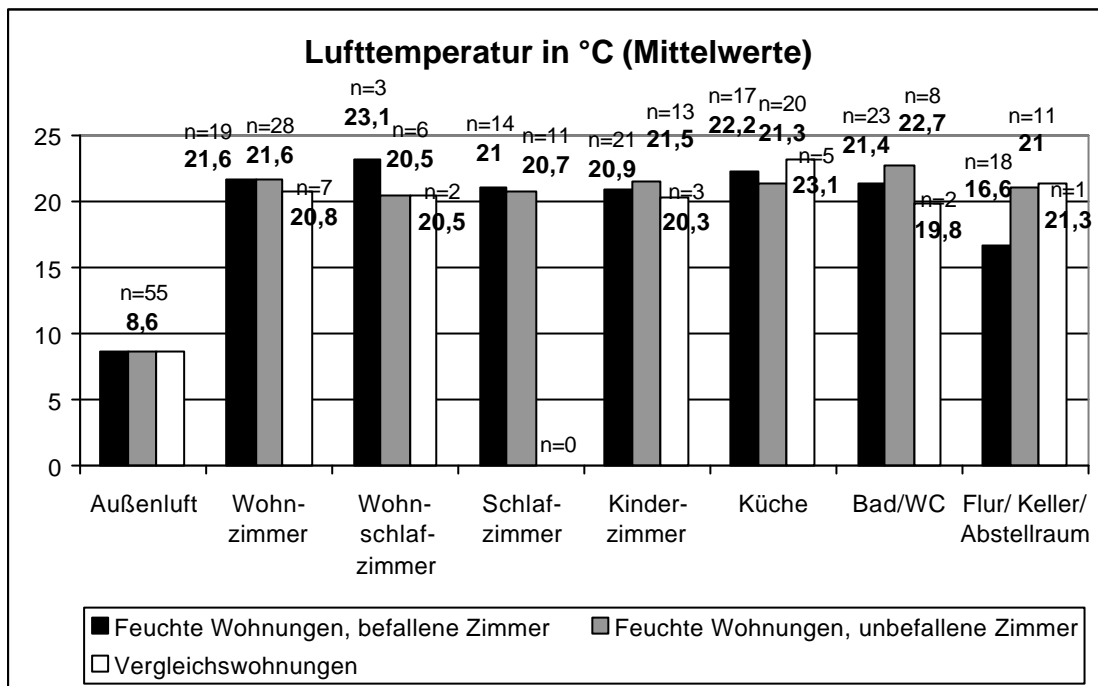


Abb. 6: Lufttemperatur in °C (Mittelwerte) von verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen

Signifikanz (zweiseitig) \hat{a}	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/Keller/Abstellraum
befallene Zimmer/Vergleichswohnung	0,18	0,20		0,65	0,20	0,23	0,62
unbefallene Zimmer/Vergleichswohnung	0,25	0,81		0,16	0,094	0,073	1,00
befallene/ unbefallene Zimmer	0,68	0,21	0,53	0,19	0,34	0,10	0,015

Tab. 8: Signifikanzen hinsichtlich Lufttemperatur in verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen

Tabelle 8 zeigt die Signifikanzen bezüglich des Parameters Lufttemperatur in den verschiedenen Räumen. Signifikanzen bzw. trendwertige Signifikanzen wurden für das Zimmer „Flur/ Keller/ Abstellraum“ zwischen befallenen und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen ($\hat{a}=0,015$), für den Raum „Bad/WC“ zwischen unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen und Vergleichswohnungen ($\hat{a}=0,07$), für den Raum „Küche“ zwischen unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen und Vergleichswohnungen ($\hat{a}=0,094$) und für

den Raum „Flur/ Keller/ Abstellraum“ zwischen unbefallenen Zimmern und Vergleichswohnungen ($\alpha=0,10$) festgestellt.

Die relative Luftfeuchte schwankt in den befallenen Zimmern feuchter Wohnungen zwischen 47,8% im Kinderzimmer und 53,9% im Flur/ Keller/ Abstellraum. In den unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen wurde im Wohnzimmer mit 46,8% die kleinste und im Wohnschlafzimmer mit 49,8% die größte relative Luftfeuchte gemessen. Die Vergleichswohnungen zeigten im Kinderzimmer mit 44,2% die tiefste und in der Küche mit 50,4% die höchste relative Luftfeuchte. Abbildung 7 informiert über die gemessene relative Luftfeuchte der verschiedenen Räume in feuchten und Vergleichswohnungen.

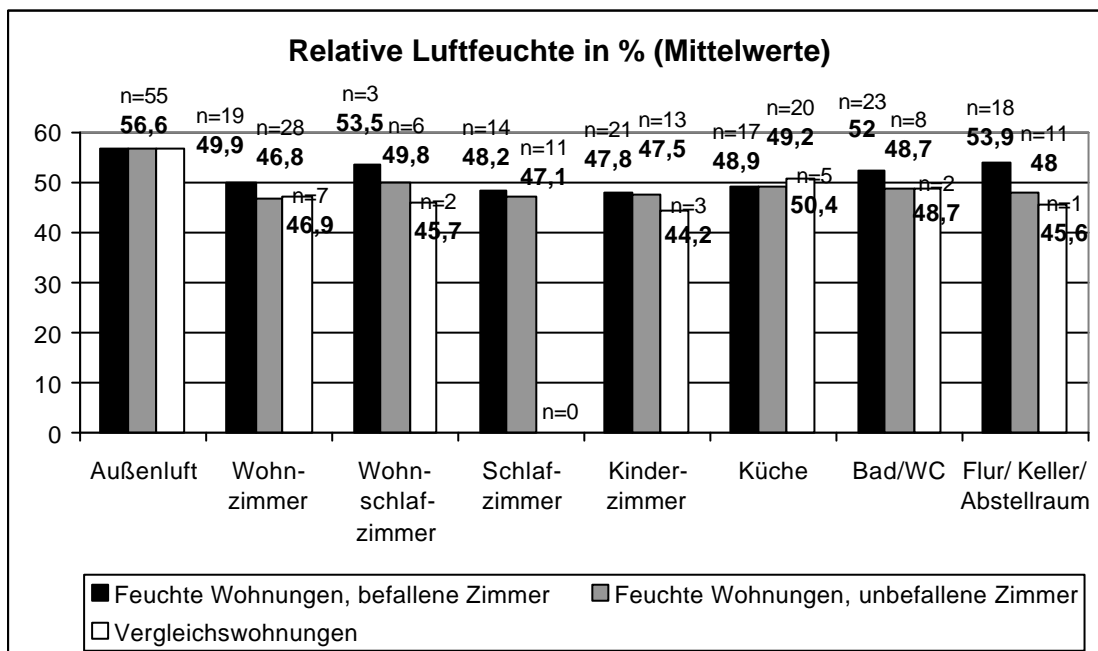


Abb. 7: Relative Luftfeuchte in % (Mittelwerte) von verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen

Signifikanz (zweiseitig) α	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/ Keller/ Abstellraum
befallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,39	0,40		0,22	0,50	0,43	0,62
unbefallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,68	0,86		0,47	0,61	0,75	1,00
befallene/ unbefallene Zimmer	0,038	0,79	0,69	0,90	0,60	0,38	0,14

Tab. 9: Signifikanzen hinsichtlich relativer Luftfeuchte in verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen

Die Signifikanzen bezüglich des Parameters relative Luftfeuchte in den verschiedenen Räumen feuchter und Vergleichswohnungen werden in Tabelle 9 dargestellt. Es zeigte sich eine Signifikanz für das Zimmer „Wohnzimmer“ zwischen befallenen und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen ($\alpha=0,038$).

In den befallenen Zimmern feuchter Wohnungen wurde im Flur/ Keller/ Abstellraum mit 12,5°C die niedrigste und im Wohnschlafzimmer mit 21,7°C die höchste Wandtemperatur an einer unbefallenen Stelle gemessen. Dagegen herrschte in den unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen im Schlafzimmer mit 13,6°C die kleinste und ebenfalls im Wohnschlafzimmer mit 21,1°C die größte Wandtemperatur an einer unbefallenen Stelle und in den Vergleichswohnungen zeigte das Kinderzimmer mit 14,1°C die tiefste und die Küche mit 20,7°C die höchste Wandtemperatur an einer unbefallenen Stelle. Eine Übersicht der Wandtemperatur an unbefallenen Stellen der verschiedenen Räume gibt Abbildung 8.

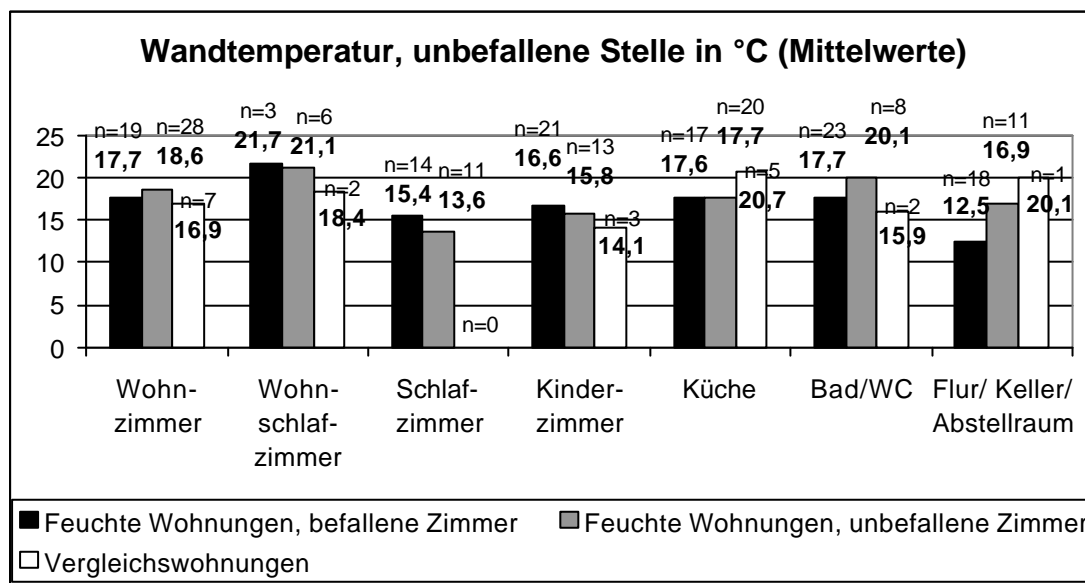


Abb. 8: Wandtemperatur, unbefallene Stelle in °C (Mittelwerte) von verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen

Signifikanz (zwei-seitig) α	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/ Keller/ Abstellraum
befallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,93	0,67		0,093	0,05	0,47	0,33
unbefallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,48	0,80		0,67	0,22	0,14	0,50
befallene/ unbefallene Zimmer	0,45	0,33	0,17	0,50	0,44	0,06	0,22

Tab. 10: Signifikanzen hinsichtlich Wandtemperatur, unbefallene Stelle in verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen

Tabelle 10 fasst die Signifikanzen bezüglich des Parameters Wandtemperatur an einer unbefallenen Stelle in den verschiedenen Räumen feuchter und Vergleichswohnungen zusammen. Signifikanzen bzw. trendwertige Signifikanzen wurden für den Raum „Küche“ zwischen befallenen Zimmern feuchter Wohnungen und Vergleichswohnungen ($\alpha=0,05$), für den Raum „Bad/WC“ zwischen befallenen und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen ($\alpha=0,06$) und für den Raum „Kinderzimmer“ zwischen befallenen Zimmern feuchter Wohnungen und Vergleichswohnungen ($\alpha=0,093$) ermittelt.

Im folgenden werden die feuchten Wohnungen und die Vergleichswohnungen bezüglich Sporenzahlen, Pilzgattungen und klimatischen Parametern getrennt betrachtet.

4.2.1.2. Sporenzahlen, Pilzgattungen und Klimaparameter von befallenen Zimmern feuchter Wohnungen

Sporenzahl in der Luft

Die Luftkeimuntersuchung in feuchten Wohnungen erfolgte in jedem befallenen Raum. In jedem Raum wurden zwei Proben genommen. Die Sporenzahl in der Innenraumluft der befallenen Zimmer (Gesamtdurchschnitt der Mittelwerte = 2.461 KBE/m³ Luft) liegt gut drei mal so hoch als die in der Außenluft (durchschnittlich 784 KBE/m³ Luft). Der niedrigste Wert ist im Wohnzimmer (651 KBE/m³ Luft, n=19) zu finden, welcher außerdem unter der Sporenzahl der Außenluft liegt. Die Räume mit den höchsten durchschnittlichen Sporenzahlen sind Wohnschlafzimmer (4.033 KBE/m³ Luft, n=3) und Küche (3.778 KBE/m³ Luft, n=17). Sie liegen jeweils 3.249 KBE/m³ Luft und 2.994 KBE/m³ Luft über der Sporenzahl in der Außenluft. Im Kinderzimmer wurden 2.692 KBE/m³ Luft (n=21), im Schlafzimmer 2.395 KBE/m³ Luft (n=14), im Flur/ Keller/ Abstellraum 2.350 KBE/m³ Luft (n=18) und im Bad/WC 1.328 KBE/m³ Luft (n=23) gemessen.

Tabelle 11 fasst die Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Sporenanzahl in der Luft befallener Räume feuchter Wohnungen zusammen.

Sporenzahl, befallene Stellen

In jedem befallenen Raum wurden jeweils zwei Abklatschproben an befallenen Stellen genommen. Es zeigte sich, dass in jedem einzelnen befallenen Raum auch ein massiver Schimmelpilzbefall hierdurch nachgewiesen wurde.

Wert	Außenluft	Mittelwerte aller Räume	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/Keller/Abstell-Raum
Maximum	5.000	19.151	2.860	10.000	20.400	34.800	46.000	10.000	10.000
Mittelwert	784	2.461	651	4.033	2.395	2.692	3.778	1.328	2.350
Minimum	40	147	95	640	55	75	60	55	50
Anzahl der Räume (n)	55	16	19	3	14	21	17	23	18

Tab. 11: Sporenanzahl (Mittelwert) in der Luft verschiedener befallener Räume von feuchten Wohnungen in KBE/m³

Sporenzahl, unbefallene Stellen

Zusätzlich wurde in jedem mit Schimmel befallenen Raum ebenfalls jeweils zwei Abklatschproben an unbefallenen Stellen entnommen. Hier wurde in vier Räumen (Wohnzimmer, Schlafzimmer, Küche, Bad/WC) ein massiver Schimmelpilzbefall nachgewiesen, obwohl die Proben an visuell unbefallenen Stellen genommen wurden.

Pilzgattungen und deren Sporenzahl in der Luft

In allen befallenen Räumen der feuchten Wohnungen ist bis auf das Wohnzimmer die Sporenzahl der Schimmelpilze höher als die Sporenzahl der Außenluftkeime. An einzelnen Schimmelpilzgattungen dominieren in der Luft vor allem Aspergillus mit den größten Werten in der Küche (3.130 KBE/m³ Luft, n=17), im Wohnschlafzimmer (2.700 KBE/m³ Luft, n=3) und im Kinderzimmer (1.647 KBE/m³ Luft, n=21), Penicillium mit den höchsten Werten im Flur/ Keller/ Abstellraum (956 KBE/m³ Luft, n=18) und im Kinderzimmer (886 KBE/m³ Luft, n=21) und Cladosporium. Bei letzterer Gattung liegen die Sporenzahlen in allen Räumen bis auf das Wohnschlafzimmer niedriger als in der Außenluft. Des weiteren wurden in unterschiedlicher Häufigkeit die Pilzgattungen Fusarium, Alternaria, Acremonium, Botrytis, Candida, Epicoccum, Mucor, Rhodotorula und Stemphylium gefunden. In der Außenluft kamen außerdem Geotrichum, Stachybotrys und Pilze aus der Gruppe der Pyknidiales, im Bad/WC Rhizopus und im Flur/ Keller/ Abstellraum Pilze aus der Gruppe der Pyknidiales vor. Tabelle 12 zeigt eine Übersicht der nachgewiesenen Keime in der Luft befallener Zimmer feuchter Wohnungen.

Keimart	Außenluft	Mittelwerte aller Räume	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/Keller/Abstellraum
Gesamtpilzzahl	784	2.461	651	4.033	2.395	2.692	3.778	1.328	2.350
Schimmelpilze	728	2.380	599	4.020	2.101	2.679	3.683	1.302	2.279
Hefen	55	64	21	13	293	13	72	16	20
Aspergillus	29	1.458	107	2.700	1.158	1.647	3.130	437	1.025
Penicillium	237	703	417	758	817	886	424	665	956
Cladosporium	219	180	52	552	113	66	116	181	180
Fusarium	2	1	1	0	0	1	0	2	0
Alternaria	10	2	1	2	3	1	4	1	1
Acremonium	9	1	1	0	1	4	2	1	1
Botrytis	2	1	1	2	1	0	1	1	0
Epicoccum	2	1	1	2	0	0	0	1	1
Mucor	0	1	1	0	1	0	0	0	1
Stemphylium	1	1	1	0	1	1	1	2	0
Steriles Myzel	93	1	0	0	1	1	1	2	1
Candida	1	1	0	2	5	0	0	3	0
Rhodotorula	39	4	7	2	1	1	1	5	8
Anzahl der Räume (n)	55	16	19	3	14	21	17	23	18

Tab. 12: Sporezahl von Pilzgattungen in der Luft (Mittelwert) verschiedener befallener Räume von feuchten Wohnungen in KBE/m³

Pilzgattungen, befallene Stelle

Die Abklatschuntersuchung an befallenen Stellen der befallenen Räume von feuchten Wohnungen zeigte das Vorhandensein von massivem Schimmelpilzbefall. Folgende Pilzgattungen, beginnend mit den häufigsten wurden gefunden: Mucor, Cladosporium, Rhodotorula, Penicillium, Aspergillus, Candida, Stemphylium, Alternaria, Acremonium und in sehr geringen Konzentrationen Rhizopus, steriles Myzel, Epicoccum und Botrytis.

Pilzgattungen, unbefallene Stelle

Die Abklatschuntersuchung an unbefallenen Stellen der befallenen Räume von feuchten Wohnungen ergab geringere Konzentrationen von Schimmelpilzen. Am häufigsten wurden

Sporen von *Penicillium* und *Geotrichum* nachgewiesen. Weiterhin wuchsen in sehr kleinen Konzentrationen: *Aspergillus*, *Cladosporium*, steriles Myzel, *Acremonium*, *Epicoccum*, *Mucor*, *Alternaria*, *Stemphylium*, *Botrytis*, *Rhodotorula*, *Fusarium* und *Candida*.

Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Wandtemperatur

Die aktuelle durchschnittliche Lufttemperatur betrug in den meisten Räumen 20°C bis 23°C. Die niedrigsten Temperaturen wurden neben der Außenluft (8,6°C) im Flur/ Keller/ Abstellraum (16,6°C) gemessen. Die relative Luftfeuchte war mit durchschnittlich 56,6% in der Außenluft am höchsten. In den befallenen Wohnungen zeigten der Flur/ Keller/ Abstellraum mit 53,9%, das Wohnschlafzimmer mit 53,5%, das Bad/WC mit 52,0% und das Wohnzimmer mit 49,9% die höchsten relativen Luftfeuchten. Die niedrigste Feuchte befand sich im Kinderzimmer (47,8%). Die Wandtemperaturen von den befallenen Stellen waren überwiegend 2°C bis 3°C niedriger als jene von den unbefallenen Stellen. Im Flur/ Keller/ Abstellraum und im Schlafzimmer wurden die kleinsten Temperaturen (12,0°C bzw. 13,4°C, befallene Stelle) und im Wohnschlafzimmer die größte Temperatur (21,7°C, unbefallene Stelle) gemessen. Die Tabelle 13 zeigt in einer Übersicht die einzelnen klimatischen Durchschnittswerte in befallenen Zimmern feuchter Wohnungen.

Parameter (Mittelwert)	Außenluft	Mittelwerte aller Räume	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/ Keller/ Abstellraum
Lufttemperatur in °C	8,6	21,0	21,6	23,1	21,0	20,9	22,2	21,4	16,6
Relative Luftfeuchte in %	56,6	50,6	49,9	53,5	48,2	47,8	48,9	52,0	53,9
Wandtemperatur in °C, befallene Stelle		14,9	14,9	19,7	13,3	13,4	15,5	15,3	12,0
Wandtemperatur in °C, unbefallene Stelle		17,0	17,7	21,7	15,4	16,6	17,6	17,7	12,5
Anzahl der Räume (n)	55	16	19	3	14	21	17	23	18

Tab. 13: Klimatische Parameter (Mittelwerte) in befallenen Zimmern von feuchten Wohnungen

4.2.1.3. Sporenzahlen, Pilzgattungen und Klimaparameter von unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen

Sporenzahl in der Luft

Die Luftkeimuntersuchung in feuchten Wohnungen erfolgte zusätzlich in maximal zwei unbefallenen Räumen. In jedem Raum wurden zwei Proben genommen. Die Sporenzahl in der Innenraumluft der unbefallenen Zimmer (Gesamtdurchschnitt der Mittelwerte = 672 KBE/m³ Luft) liegt 122 KBE/m³ Luft unter der in der Außenluft (durchschnittlich 784 KBE/m³ Luft). Nur die Sporenzahlen von Bad/WC (1.009 KBE/m³ Luft, n=8) und Kinderzimmer (965 KBE/m³ Luft, n=13) liegen 225 KBE/m³ Luft bzw. 181 KBE/m³ Luft über der in der Außenluft. Die niedrigsten Werte sind im Wohnschlafzimmer (392 KBE/m³ Luft, n=6), in der Küche (457 KBE/m³ Luft, n=20) und im Wohnzimmer (498 KBE/m³ Luft, n=28) zu finden. Im Flur/ Keller/ Abstellraum wurden 734 KBE/m³ Luft (n=11) und im Schlafzimmer 652 KBE/m³ Luft (n=11) nachgewiesen.

Tabelle 14 fasst die Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Sporenanzahl in der Luft unbefallener Räume der feuchten Wohnungen zusammen.

Wert	Außenluft	Mittelwerte aller Räume	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/ Keller/ Abstellraum
Maximum	5.000	2.971	3.070	675	4.220	6.000	1.570	2.375	2.890
Mittelwert	784	672	498	392	652	965	457	1.009	734
Minimum	40	57	15	50	25	65	20	155	70
Anzahl der Räume (n)	55	14	28	6	11	13	20	8	11

Tab. 14: Sporenanzahl (Mittelwert) in der Luft verschiedener unbefallener Räume von feuchten Wohnungen in KBE/m³

Sporenzahl, unbefallene Stellen

Zusätzlich wurde in einem unbefallenen Raum ebenfalls jeweils zwei Abklatschproben an unbefallenen Stellen entnommen. Hier wurde in allen Räumen nur eine minimale Keimkonzentration nachgewiesen, die im allgemeinen dem Lufteintrag von außen zuzuschreiben ist.

Pilzgattungen und deren Sporenzahl in der Luft

Im Bad/WC (985 KBE/m³ Luft, n=8) und im Kinderzimmer (897 KBE/m³ Luft, n=13) ist die Sporenzahl der Pilzgattungen höher als die Sporenzahl der Außenluftkeime. In den restlichen unbefallenen Räumen ist sie niedriger. An einzelnen Schimmelpilzgattungen dominieren in der Luft vor allem *Aspergillus* mit den größten Werten im Bad/WC (374 KBE/m³ Luft, n=8) und im Wohnzimmer (217 KBE/m³ Luft, n=28), *Penicillium* mit den höchsten Werten im Kinderzimmer (646 KBE/m³ Luft, n=13), im Bad/WC (506 KBE/m³ Luft, n=8) und im Schlafzimmer (468 KBE/m³ Luft, n=11) und *Cladosporium*. Bei letzterer Gattung liegen die Sporenzahlen aller Räume unter der in der Außenluft. Des weiteren wurden in unterschiedlicher Häufigkeit die Pilzgattungen *Fusarium*, *Alternaria*, *Acremonium*, *Botrytis*, *Candida*, *Epicoccum*, *Rhodotorula* und *Stemphylium* gefunden. In der Außenluft kamen außerdem *Geotrichum* und Pilze aus der Gruppe der Pyknidiales, in der Küche *Geotrichum* und im Kinderzimmer *Mucor* und *Rhizopus* vor.

Keimart	Außenluft	Mittelwerte aller Räume	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/Keller/Abstellraum
Gesamtpilzzahl	784	672	498	392	652	965	457	1.009	734
Schimmelpilze	728	648	480	380	645	897	441	985	710
Hefen	55	14	12	10	5	20	5	22	22
Aspergillus	29	131	217	22	43	137	53	374	70
Penicillium	237	375	191	143	468	646	263	506	405
Cladosporium	219	99	63	146	102	49	67	97	171
Fusarium	2	3	0	0	1	16	3	0	0
Alternaria	10	1	1	0	0	1	1	1	0
Acremonium	9	1	0	0	7	0	1	0	0
Botrytis	2	1	1	0	1	2	1	0	3
Epicoccum	2	1	0	4	1	1	1	1	0
Stemphylium	1	1	0	0	6	0	0	3	0
Steriles Myzel	93	1	2	0	1	1	1	0	0
Candida	1	1	1	0	0	0	1	0	3
Rhodotorula	39	5	3	3	3	6	1	3	13
Anzahl der Räume (n)	55	14	28	6	11	13	20	8	11

Tab. 15: Sporenzahl von Pilzgattungen in der Luft (Mittelwert) unbefallener Räume von befallenen Wohnungen in KBE/m³

Tabelle 15 zeigt eine Übersicht der nachgewiesenen Keime in der Luft unbefallener Zimmer feuchter Wohnungen.

Pilzgattungen, unbefallene Stelle

In den Abklatschuntersuchungen an unbefallenen Stellen der unbefallenen Räume von feuchten Wohnungen wurden geringe Konzentrationen folgender Pilzgattungen nachgewiesen: Penicillium, Cladosporium, Rhodotorula, Aspergillus, Epicoccum, steriles Myzel, Rhizopus, Botrytis, Alternaria, Stemphylium, und Candida.

Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Wandtemperatur

Die durchschnittliche Lufttemperatur schwankte in den unbefallenen Räumen von 20,5°C im Wohnschlafzimmer bis 22,7°C im Bad/WC. Das Wohnschlafzimmer (49,8%), die Küche (49,2%) und das Bad/WC (48,7%) zeigten die höchsten relativen Luftfeuchten. Die niedrigste Feuchte befand sich im Wohnzimmer (46,8%). Die kleinste Wandtemperatur wurde mit 13,6°C im Schlafzimmer und die größte mit 21,1°C im Wohnschlafzimmer gemessen. Die Tabelle 16 zeigt eine Zusammenfassung der klimatischen Durchschnittswerte von unbefallenen Räumen feuchter Wohnungen.

Parameter (Mittelwert)	Außenluft	Mittelwerte aller Räume	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/Keller/Abstellraum
Lufttemperatur in °C	8,6	21,3	21,6	20,5	20,7	21,5	21,3	22,7	21,0
Relative Luftfeuchte in %	56,6	48,2	46,8	49,8	47,1	47,5	49,2	48,7	48,0
Wandtemperatur in °C, unbefallene Stelle		17,7	18,6	21,1	13,6	15,8	17,7	20,1	16,9
Anzahl der Räume (n)	55	14	28	6	11	13	20	8	11

Tab. 16: Klimatische Parameter (Mittelwerte) in unbefallenen Zimmern von feuchten Wohnungen

4.2.1.4. Sporenzahlen, Pilzgattungen und Klimaparameter von Vergleichswohnungen

Sporenzahl in der Luft

Die Luftkeimuntersuchung in den Vergleichswohnungen wurde jeweils in einem Raum durchgeführt, der mit dem am stärksten befallenen Raum der jeweiligen feuchten Wohnung vergleichbar war. Die Sporenzahl in der Innenraumluft der unbefallenen Wohnungen (Gesamtdurchschnitt der Mittelwerte = 504 KBE/m³ Luft) liegt ein Drittel niedriger als die in der Außenluft (durchschnittlich 784 KBE/m³ Luft). Eine Ausnahme stellt mit 1.540 KBE/m³ Luft der Flur/ Keller/ Abstellraum dar. Hier liegt die Sporenzahl fast 800 KBE/m³ Luft (n=1) über der in der Außenluft. Allerdings wurde hier nur ein Raum untersucht. In den restlichen Räumen wiesen wir nur sehr geringe Keimzahlen nach: in der Küche 222 KBE/m³ Luft (n=5), im Wohnschlafzimmer 233 KBE/m³ Luft (n=2), im Bad/WC 263 KBE/m³ Luft (n=2), im Kinderzimmer 345 KBE/m³ Luft (n=3) und im Wohnzimmer 442 KBE/m³ Luft (n=7). Die höchste maximale Sporenzahl von 1.540 KBE/m³ Luft wurde im Flur/ Keller/ Abstellraum gemessen. Dieser Wert ist nur ein Drittel so groß wie der Maximalwert der Außenluft und nur ein Sechstel so groß wie der im gleichen befallenen Raum von feuchten Wohnungen.

Tabelle 17 fasst die Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Sporenanzahl in der Luft verschiedener Räume der Vergleichswohnungen zusammen.

Parameter	Außenluft	Mittelwerte aller Räume	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/ Keller/ Abstellraum
Maximum	5.000	718	760	410	820	475	300	1.540
Mittelwert	784	504	422	233	345	222	263	1.540
Minimum	40	319	20	55	55	20	225	1.540
Anzahl der Räume (n)	55	3	7	2	3	5	2	1

Tab. 17: Sporenanzahl (Mittelwert) der Luft verschiedener Räume von Vergleichswohnungen in KBE/m³

Sporenzahl, unbefallene Stelle

In dem Raum, der dem am stärksten befallenen Raum von der jeweiligen feuchten Wohnung ähnlich war, wurden außerdem zwei Abklatschproben an unbefallenen Stellen genommen. Hier wurde in allen Räumen nur eine minimale Schimmelpilzzahl nachgewiesen.

Pilzgattungen und deren Sporenzahl in der Luft

Die Sporenzahl der Schimmelpilze ist nur im Flur/ Keller/ Abstellraum (n=1) höher als die Sporenzahl der Außenluftkeime. An einzelnen Schimmelpilzarten dominieren in der Luft Penicillium mit dem höchsten Wert im Kinderzimmer (282 KBE/m³ Luft, n=3), Aspergillus mit dem größten Wert im Wohnzimmer (74 KBE/m³ Luft, n=7) und Cladosporium. Bei letzterer Art liegen die Sporenzahlen in allen Räumen niedriger als in der Außenluft. Des weiteren wurden in unterschiedlicher Häufigkeit die Schimmelpilzgattungen Fusarium, Alternaria, Epicoccum und Rhodotorula gefunden. In der Außenluft kamen außerdem Geotrichum, Acremonium, Stemphylium und Pilze aus der Gruppe der Pyknidiales, im Wohnzimmer Botrytis und Pyknidiales und im Bad/WC Candida vor. Tabelle 18 zeigt eine Übersicht der nachgewiesenen Keime in der Luft von Vergleichswohnungen.

Keimart	Außenluft	Mittelwerte aller Zimmer	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/Keller/Abstellraum
Gesamtpilzzahl	784	504	422	233	345	222	263	1.540
Schimmelpilze	728	702	374	225	338	202	243	1.540
Hefen	55	18	48	8	3	21	23	0
Aspergillus	29	31	74	25	17	12	5	50
Penicillium	237	137	204	53	282	74	171	35
Cladosporium	219	53	77	75	30	84	53	0
Fusarium	2	0	1	0	0	0	0	0
Alternaria	10	9	2	0	7	0	0	45
Epicoccum	2	2	1	5	0	0	3	5
Steriles Myzel	93	1	1	0	0	0	5	nicht zählbar
Candida	1	1	0	0	0	0	5	0
Rhodotorula	39	2	0	8	0	4	0	0
Anzahl der Räume	55	3	7	2	3	5	2	1

Tab. 18: Sporenzahl (Mittelwert) von Pilzgattungen in der Luft verschiedener Räume von Vergleichswohnungen in KBE/m³

Pilzgattungen, unbefallene Stelle

In den Abklatschuntersuchungen an unbefallenen Stellen in Vergleichswohnungen wurden geringe Konzentrationen folgender Pilzgattungen nachgewiesen: Aspergillus, Penicillium,

Cladosporium, steriles Myzel, Epicoccum, Botrytis, Alternaria, Fusarium, Stemphylium, Rhodotorula und Candida.

Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Wandtemperatur

Die durchschnittliche Lufttemperatur in Vergleichswohnungen schwankte zwischen 19,8°C im Bad/WC und 23,1°C in der Küche. Die relative Luftfeuchte war mit durchschnittlich 50,4% in der Küche am höchsten und mit 44,2% im Kinderzimmer am niedrigsten. Die Wandtemperaturen von den unbefallenen Stellen waren unterschiedlich hoch. Im Kinderzimmer (14,1°C) und im Bad/WC (15,9°C) wurde die kleinste Temperatur und in der Küche (20,7°C) die größte Temperatur gemessen. Die Tabelle 19 gibt einen Überblick über die einzelnen Werte.

Parameter (Mittelwert)	Außenluft	Mittelwerte aller Räume	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/Keller/Abstellraum
Lufttemperatur in °C	8,6	21,0	20,8	20,5	20,3	23,1	19,8	21,3
Relative Luftfeuchte in %	56,6	46,9	46,9	45,7	44,2	50,4	48,7	45,6
Wandtemperatur, unbefallene Stelle in °C		17,7	16,9	18,4	14,1	20,7	15,9	20,1
Anzahl der Räume (n)	55	3	7	2	3	5	2	1

Tab. 19: Klimatische Parameter (Mittelwerte) in verschiedenen Räumen von Vergleichswohnungen

4.2.2. Ergebnisse (einfache Häufigkeiten und Korrelationsanalysen) des Frageprogramms

4.2.2.1. Allgemeines

Für jede einzelne Variable der Fragebögen „Wohnumwelt“, „Mikrobiologie“ und „Gesundheit“ wurde eine Häufigkeitsanalyse durchgeführt.

Des weiteren erfolgten Korrelationsanalysen zwischen verschiedenen Variablen des Frageprogramms. Dabei wurde die Variable *Anzahl befallener Räume* und die Variable *Quadratmeter des Befalls* je mit 13 Variablen bezüglich Bauhygiene, 32 Variablen im Hinblick auf Wohnverhalten und 24 Variablen in bezug auf Gesundheitsstörungen korreliert.

Zusätzlich wurden noch die Variablen *durchschnittliche Sporenzahl der Luft, der befallenen und der unbefallenen Stelle* mit der Variable *Schwere des Befalls* für jeden einzelnen Raum korreliert. Es werden hochsignifikante ($\alpha = 0,01$), signifikante ($0,01 < \alpha < 0,05$) und einige trendwertig signifikante ($0,05 < \alpha < 0,1$) Korrelationen aufgeführt.

Ausgangspunkt der Untersuchung:

Als Ausgangspunkt der Untersuchung gaben die Bewohner der feuchten Wohnungen über die Hälfte (54,5%) Schimmelpilzbefall und Gesundheitsstörungen an. Knapp ein Drittel der Bewohner (27,3%) klagten nur über Schimmelpilzbefall und in gut jeder zehnten Wohnung (12,7%) lag ein Schimmelpilzbefall und eine Sensibilisierung gegenüber Schimmelpilzallergenen vor (s. Abbildung 9).

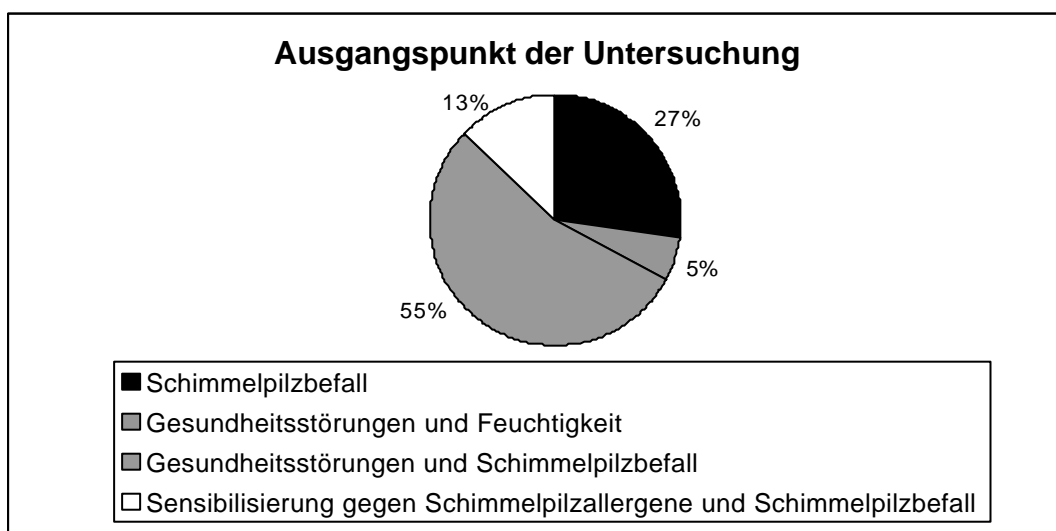


Abb. 9: Ausgangspunkt der Untersuchung

Zufriedenheit mit der Wohnung:

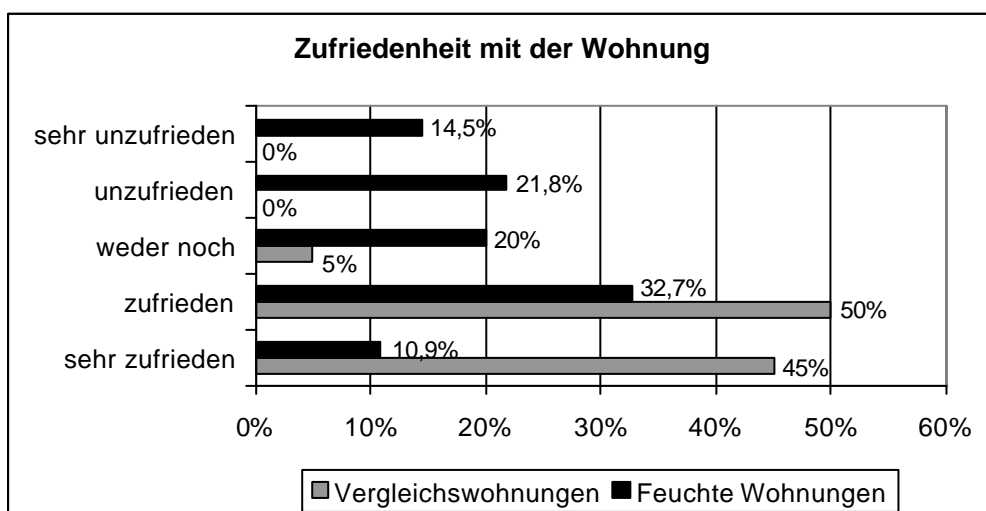


Abb. 10: Zufriedenheit mit der Wohnung

Nach der Zufriedenheit wurden in den befallenen und in den unbefallenen Wohnungen gefragt. Die Bewohner der trockenen Wohnungen sind mit ihrer Wohnung insgesamt zufrieden, in fast jeder zweiten Wohnung (45%) sind sie sogar sehr zufrieden mit ihrer Wohnung. Jedoch sind nur die Bewohner jeder zehnten feuchten Wohnung (10,9%) sehr zufrieden mit ihrer Wohnung (s. Abbildung 10).

4.2.2.2. Fragenkatalog Wohnumwelt (Bauhygiene)

4.2.2.2.1. Einfache Häufigkeiten

Feuchte und trockene Wohnungen unterscheiden sich kaum voneinander hinsichtlich der Größe (mehrheitlich liegen die Wohnungen in einem großen Mietshaus). Rund 50% aller Wohnungen befinden sich in einem Ziegelbau gebaut vor 1970 und knapp 25 % in einem Plattenbau gebaut vor 1970. Fast alle Gebäude sind maximal fünf Stockwerke hoch.

Mehr als zwei Drittel (68,6%) der befallenen Wohnungen aber nur 55,6% der Vergleichswohnungen sind Giebelwohnungen.

Die Zimmeranzahl (überwiegend Drei-Raum-Wohnungen) unterscheidet sich gering zwischen befallenen und unbefallenen Wohnungen. Die Vergleichswohnungen sind eher kleiner als die feuchten Wohnungen. Fast jede zweite trockene Wohnung (45,0%) ist maximal 60 m² groß, dagegen besitzen zwei Drittel der feuchten Wohnungen eine Wohnungsgröße über 60 m². Es befinden sich aber auffallend mehr Personen in feuchten Wohnungen. In 92,7% der feuchten Wohnungen leben zwei oder mehr Personen. Die gleiche Zahl von Personen lebt in 75% der trockenen Wohnungen (s. Abbildung 11).

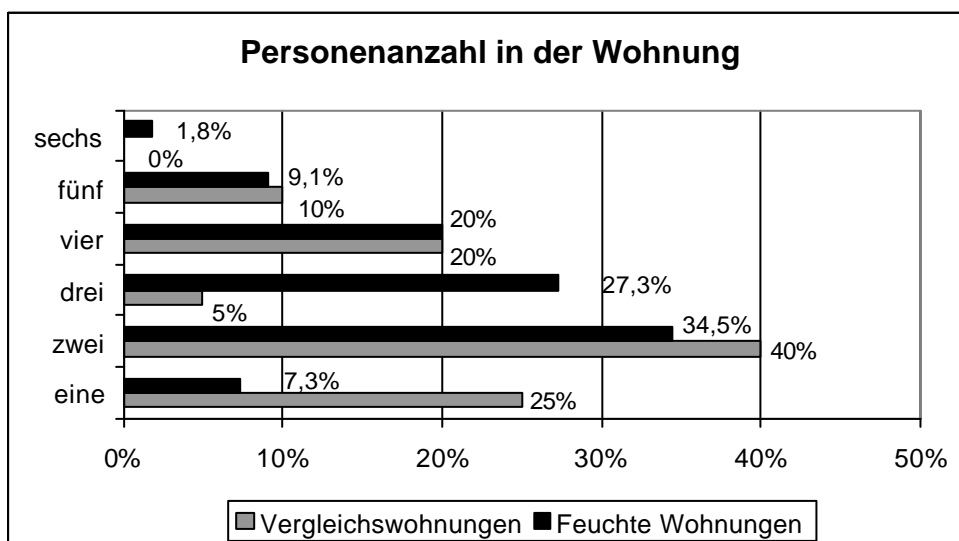


Abb. 11: Personenanzahl in der Wohnung

Die Abbildung 12 zeigt den Belegungsquotienten der Wohnungen, welcher das Verhältnis von Wohnräumen zu Anzahl der Bewohner angibt. Den Bewohnern der feuchten Wohnung stehen weniger Wohnräume zur Verfügung (Belegungsquotient > 1 in 50,9% der Wohnungen) als den Bewohnern der Vergleichswohnungen (Belegungsquotient > 1 in 65% der Wohnungen). Der nichtparametrische Mann-Whitney-Test für unabhängige Stichproben zeigte für den Belegungsquotient eine exakte zweiseitige Signifikanz von $\hat{\alpha}=0,32$. Das Ergebnis ist somit nicht signifikant.

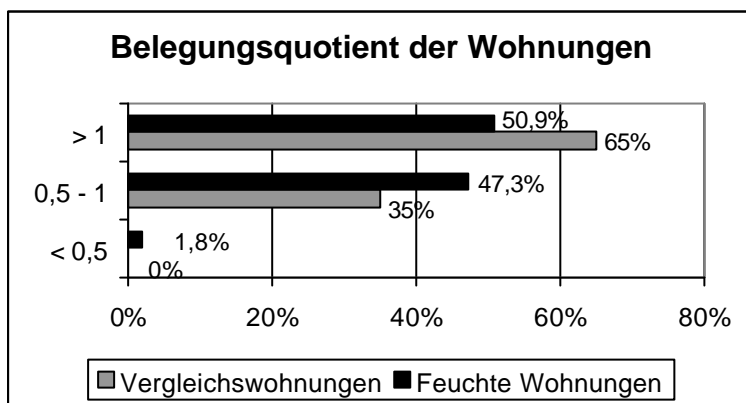


Abb. 12: Belegungsquotient der Wohnungen

In fast jeder Wohnung (befallen und unbefallen) wurden nach Juli 1990 besser wärmedämmende Fenster eingebaut und in einzelnen feuchten Wohnungen die Fenster nachträglich noch abgedichtet. Daraufhin traten in zwei Drittel der derzeit befallenen Wohnungen erstmalig (46,5%) oder vermehrt (18,6%) Feuchtigkeit und Schimmelbefall auf. In jeder dritten feuchten und trockenen Wohnung wurden noch andere Dämmmaßnahmen durchgeführt, wie z. B. Außendämmung, Deckendämmung und Horizontalisolierung.

Der vorherrschende Fenstertyp in befallenen und unbefallenen Wohnung ist das Thermo- bzw. Isolierglasfenster (in 79,2% der befallenen und 89,5% der nicht befallenen Wohnungen).

In befallenen Wohnungen ist die Außenwandfläche größer und die Fensterfläche kleiner als in unbefallenen Wohnungen (s. Abbildung 13 und 14). Der Mann-Whitney-Test ergab für die Außenwandfläche eine exakte zweiseitige Signifikanz von $\hat{\alpha}=0,24$ und für die Fensterfläche eine Signifikanz von $\hat{\alpha}=0,26$. Obwohl die Ergebnisse nicht signifikant sind, ist eine Tendenz zu erkennen.

Die Art der Beheizung (mehrheitlich durch Zentral- bzw. Etagenheizung und Fernheizung ohne Konvektortruhen) und der Heizkörper (fast ausschließlich Plattenheizkörper) unterscheidet sich wenig zwischen feuchten und trockenen Wohnungen. Aber in zehn

feuchten Wohnungen erfolgt keine Beheizung des am meisten mit Schimmelpilzen befallenen Raumes, bei trockenen Wohnungen ist dies nur eine. Hier kann keine Signifikanzberechnung durchgeführt werden, da die Fallzahl zu niedrig ist.

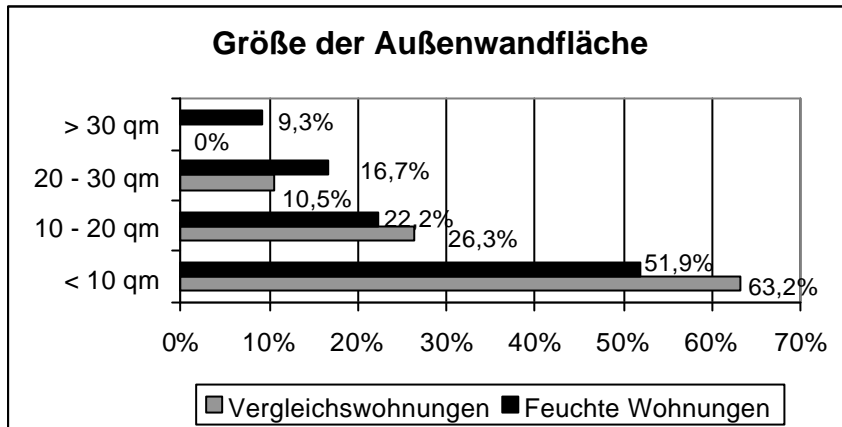


Abb. 13: Größe der Außenwandfläche in m²

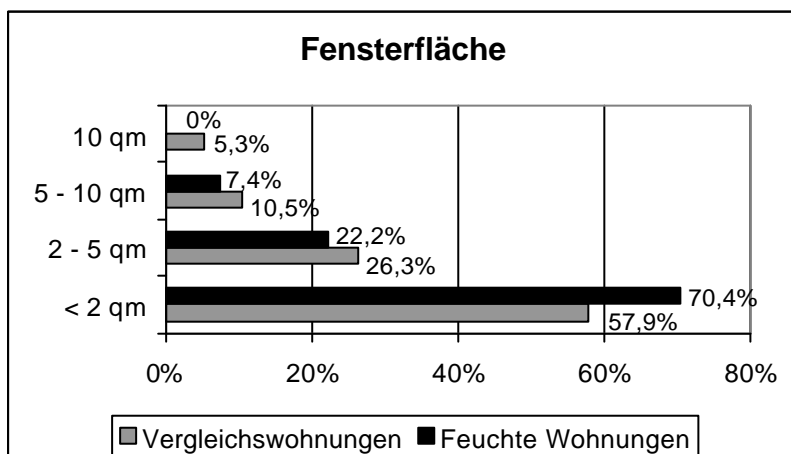


Abb. 14: Fensterfläche in m²

Fast die Hälfte aller Wohnungen wies nur ein Raum mit Schimmelbefall auf (43,6%), jedoch waren in knapp jeder vierten Wohnung zwei (23,6%) und sogar drei Räume (25,5%) mit Schimmelpilzen befallen.

Der Raum mit größter Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall war das Bad/WC mit 27,3% (wobei hier in drei Viertel dieser Wohnungen Bad und WC kombiniert waren), gefolgt von Kinderzimmer mit 16,4%, Küche und Keller (beide 14,5%).

Als einzelner Wohnraum zeigte das Kinderzimmer den meisten Schimmelpilzbefall (20%), gefolgt von Wohnzimmer (18,2%) und Schlaf- bzw. Wohnschlafzimmer (9,1%). Von den anderen Räumen ist das Bad/WC am häufigsten mit Schimmelpilzen befallen (29,6%) (s. Abbildung 15 und 16).

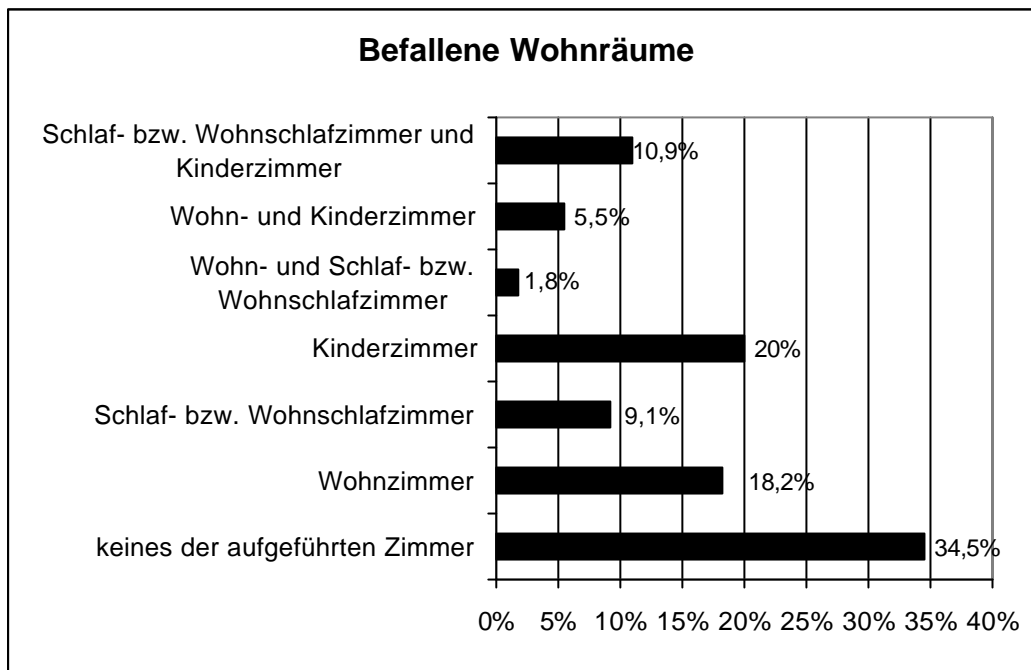


Abb. 15: Befallene Wohnräume

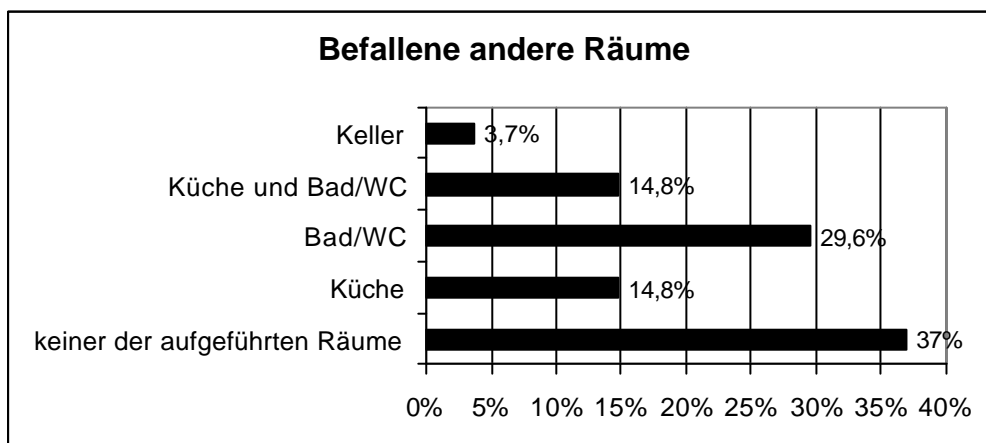


Abb. 16: Befallene andere Räume

Die mit Schimmel befallene Wand ist zu 90% eine Außenwand oder eine Ecke, wobei keine Präferenzen bezüglich oberer und unterer Wandecke bestehen.

In knapp jeder zehnten Wohnung (9,1%) ist der Fußboden vom Schimmelbefall betroffen, der sich am häufigsten (60%) über einem Keller befindet. Weiterhin ist in 8,2% der Wohnungen die Decke im obersten Geschoss mit Schimmelpilzen befallen, wobei sich der Schimmel überwiegend unter einem darrüberliegenden Spitzdach (75%) befindet.

Besteht ein Schimmelpilzbefall auf Putz oder Farbe, so ist der Schimmel zu 45% auf durchlässiger Farbe, zu 30% auf Putz, zu 15% auf Putz und durchlässiger Farbe und zu 5% auf undurchlässiger Farbe zu finden. Bei Schimmelbefall auf Tapete dominiert hier die Raufasertapete mit 51,4%, gefolgt von sonstiger durchlässiger Tapete (37,8%), Plastik-

(8,1%) und Thermotapete (2,7%). In allen feuchten Wohnungen ist an der mit Schimmel befallenen Stelle eine Verfärbung wahrzunehmen, welche zu 67,3% mehr schwarz, zu 12,7% mehr grau, zu 9,1% mehr braun, zu 5,5% bunt und je zu 1,8% mehr weiß, mehr grün und mehr gelb ist.

Eine aufsteigende Wandfeuchtigkeit, welche auch bei 57,1% der Wohnungen durch Randbildung sichtbar ist, geben die Bewohner jeder dritten Wohnung (32,7%) an. Die Ursache dessen wird in 90,9% bei einer defekten Horizontal- und Vertikalisolierung gesehen. Die Höhe der Feuchtigkeit ist dabei in fast jeder zweiten Wohnung (43,1%) größer als 60 cm. 41,8% der Bewohner von feuchten Wohnungen sehen die Schlagregeneindringung von der Seite und 9,1% die von oben eindringende Feuchtigkeit als Feuchtigkeitsursache.

In 35,7% der Wohnungen befinden sich die Feuchtigkeitszeichen jeweils in einer Ecke zwischen Decke und Außenwand und außerdem in sonstigen Ecken, 56,2% der Bewohner nehmen die Zeichen an Fensterrahmen und -leibungen wahr, Feuchtigkeitszeichen im Anschluss Fußboden – Außenwand gibt es in 47,9% der Wohnungen und in Fugen kommt in 22% der Wohnungen Feuchtigkeit vor.

Zusammengefasst vermuten 13% der Bewohner die Ursache von erhöhter Feuchtigkeit am Wasserleitungssystem, 35,2% aufgrund einer defekten Regenrinne oder Dach, 35,3% geben feucht eingebauten und schlecht hinterlüfteten Baumaterialien die Schuld, 50,9% nehmen als Feuchtigkeitsursache die eindringende Nässe an und 63,6% sehen in der Luftfeuchtigkeitskondensation eine wahrscheinliche Ursache (s. Abbildung 17).

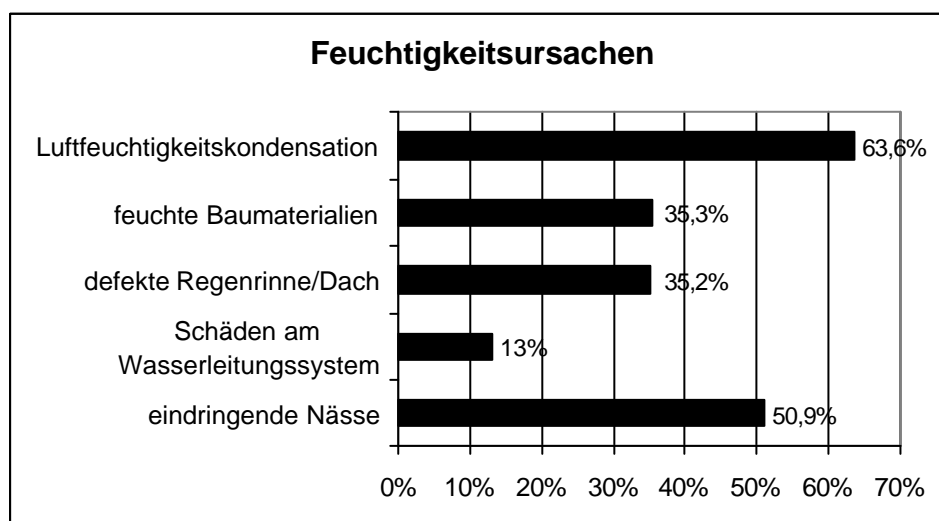


Abb. 17: Feuchtigkeitsursachen nach Aussagen der Bewohner

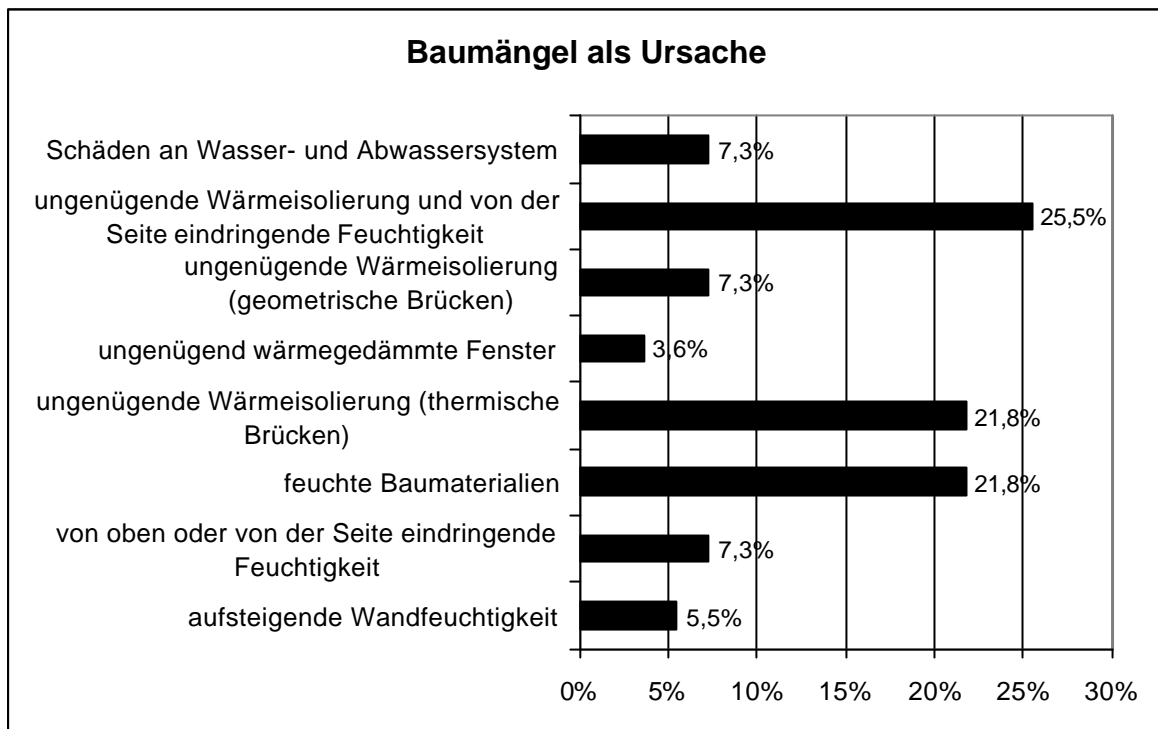


Abb. 18: Baumängel als Ursache nach Aussage der Bewohner

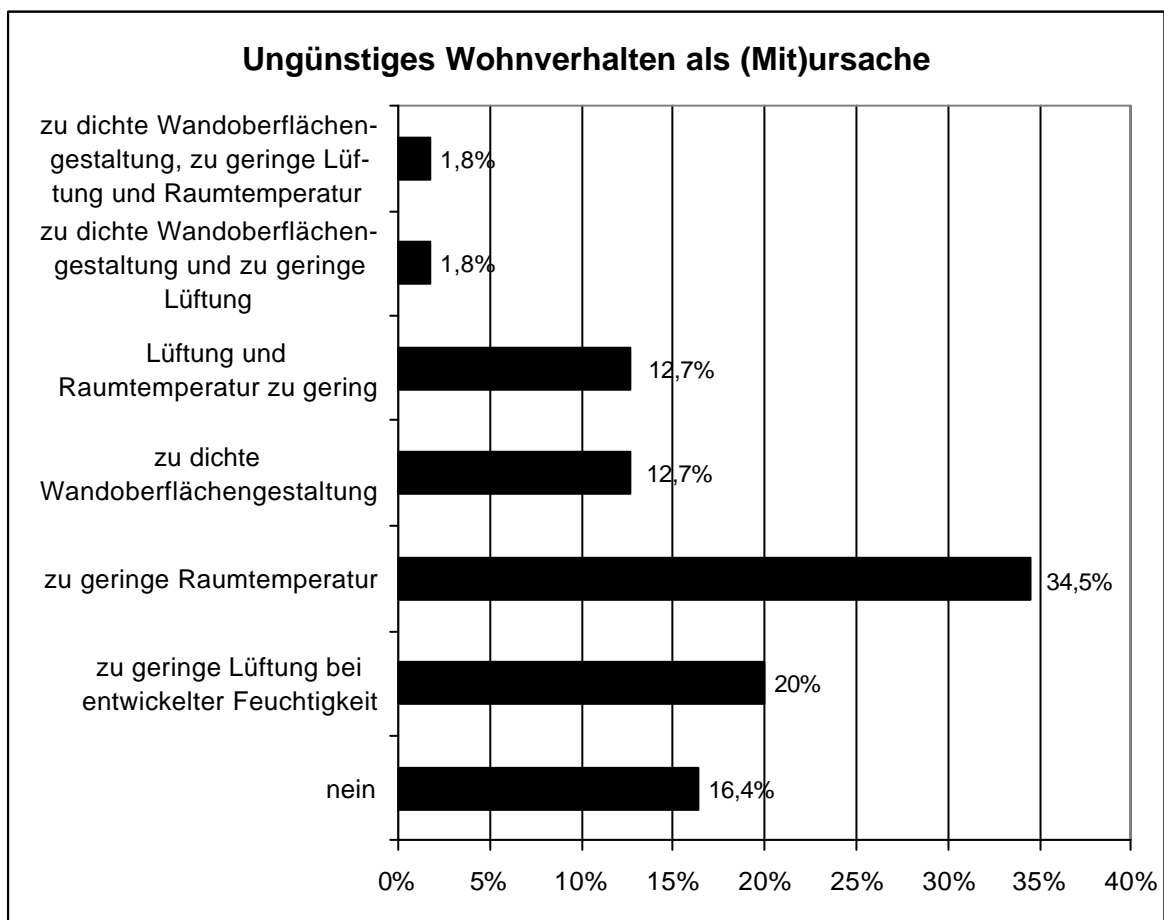


Abb. 19: Ungünstiges Wohnverhalten als (Mit)Ursache nach Aussage der Bewohner

Abschließend sollten die Bewohner die Ursachen von Feuchtigkeit und Schimmelbefall in der Wohnung abschätzen. Dabei wurde getrennt nach Baumängeln und nach ungünstigem Wohnverhalten als mögliche Ursache gefragt (s. Abbildung 18 und 19). Bei Baumängeln dominiert mit 25,5% die Angabe „ungenügende Wärmeisolierung und von der Seite eindringende Feuchtigkeit“ und bei ungünstigem Wohnverhalten überwiegt mit 34,5% die Aussage „zu geringe Raumtemperatur“.

4.2.2.2.2. Zusammenhang zwischen Bauhygiene, trockenen Räumen und Räumen mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall

Die Variable *Anzahl der feuchten Räume* wurde mit 13 verschiedenen Variablen bezüglich der Bauhygiene korreliert. Es war keine signifikante Korrelation feststellbar.

Ein trendwertiger Zusammenhang ist zwischen dem Nichtvorhandensein eines Fensters in der Küche und der Anzahl befallener Räume zu erkennen. In den mit Schimmel befallenen Wohnungen (1 – 5 befallene Räume) sind zu 15,9% häufiger als in den Vergleichswohnungen keine Fenster in der Küche vorhanden (s. Tabelle 20). Dabei muss jedoch beachtet werden, dass nur 20 Vergleichswohnungen im Gegensatz zu 55 feuchten Wohnungen untersucht wurden.

Tab. 20: Zahl der befallenen Räume und fensterlose Küche

Zahl der befallenen Räume		kein Fenster in der Küche vorhanden	Fenster in der Küche vorhanden	Zahl der untersuchten Wohnungen
0	Anzahl	15	5	20
	% der Zeile	75,0%	25,0%	100%
	% der Gesamtzahl	20,0%	6,7%	26,7%
1 – 5	Anzahl	50	5	55
	% der Zeile	90,9%	9,1%	100%
	% der Gesamtzahl	66,7%	6,7%	73,3%
	Gesamtzahl	65	10	75
		86,7%	13,3%	100%

$$\hat{a} = 0,075 \quad r = -0,21$$

4.2.2.2.3. Zusammenhang zwischen Bauhygiene und Fläche des Schimmelpilz- befalls in feuchten Räumen

Die Variable *Quadratmeter des Befalls* wurde mit 13 verschiedenen Variablen bezüglich der Bauhygiene korreliert.

Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter des Hauses, in dem sich die Wohnung befindet und der Fläche des Schimmelbefalls. Die Wohnungen mit einer Befallsfläche von mehr als 1,3 m² (Mittelwert) befinden sich zu 18,5% häufiger in mehr als fünf Jahre alten Häusern und ebenfalls 18,5% öfter in mehr als acht Jahre alte Häuser als diejenigen Wohnungen mit weniger als 1,3 m² Schimmelbefall (s. Tabelle 21).

Tab. 21: Quadratmeter des Schimmelbefalls und Alter des Hauses

Fläche des Schimmelbefalls	Anzahl	5 Jahre < 5 Jahre		Zahl der untersuchten Wohnungen	8 Jahre < 8 Jahre		Zahl der untersuchten Wohnungen
		alt	alt		alt	alt	
1,3 m²	Anzahl	22	5	27	21	6	27
	% der Zeile	81,5%	18,5%	100%	77,8%	22,2%	100%
	% der Gesamtzahl	40,7%	9,3%	50,0%	38,9%	11,1%	50,0%
> 1,3 m²	Anzahl	27	0	27	26	1	27
	% der Zeile	100%	0,0%	100%	96,3%	3,7%	100%
	% der Gesamtzahl	50,0%	0,0%	50,0%	48,1%	1,9%	50,0%
	Gesamtzahl	49	5	54	47	7	54
		90,7%	9,3%	100%	87,0%	13,0%	100%

$\hat{a} = 0,019, r = -0,32$

$\hat{a} = 0,044, r = -0,28$

Eine trendwertige Korrelation besteht zwischen Fläche des Schimmelpilzbefalls und der Lage des Hauses zu anderen Gebäuden. Hier ist zu erkennen, dass Wohnungen mit mehr als 1,3 m² Befall 26% öfter in einem Reihenhaus oder in einer Wohnlage, die sich durch eine dichte Bebauung auszeichnet, liegen als Wohnungen mit weniger als 1,3 m² Schimmelbefall. Letztere befinden sich häufiger in alleinstehenden Gebäuden (s. Tabelle 22).

Ein Zusammenhang zwischen Fläche des Schimmelbefalls und der Bausubstanz des Hauses ist auch wahrscheinlich. Die Wohnungen mit einer größeren Befallsfläche befinden sich zu 22,2% häufiger in einem Ziegelbau bzw. einem Plattenbau gebaut vor 1970 oder in einem Fachwerkbau als die Häuser, in denen Wohnungen mit kleinerer Befallsfläche vorkommen (s. Tabelle 23).

Tab. 22: Quadratmeter des Schimmelbefalls und Lage des Gebäudes zu anderen

Fläche des Schimmelbefalls		alleinstehend	Reihenhaus oder in einer dichten Bebauung	Zahl der untersuchten Wohnungen
1,3 m²	Anzahl	18	9	27
	% der Zeile	66,7%	33,3%	100%
	% der Gesamtzahl	33,3%	16,7%	50,0%
> 1,3 m²	Anzahl	11	16	27
	% der Zeile	40,7%	59,3%	100%
	% der Gesamtzahl	20,4%	29,6%	50,0%
	Gesamtzahl	29	25	54
		53,7%	46,3%	100%

 $\hat{\alpha} = 0,058$ $r = 0,26$ **Tab. 23: Quadratmeter des Schimmelbefalls und Bausubstanz des Hauses**

Fläche des Schimmelbefalls		Ziegelbau vor 1970, Plattenbau vor 1970 oder Fachwerkbau	Ziegelbau nach 1970 oder Plattenbau nach 1970	Zahl der untersuchten Wohnungen
1,3 m²	Anzahl	17	10	27
	% der Zeile	63,0%	37,0%	100%
	% der Gesamtzahl	31,5%	18,5%	50,0%
> 1,3 m²	Anzahl	23	4	27
	% der Zeile	85,2%	14,8%	100%
	% der Gesamtzahl	42,6%	7,4%	50,0%
	Gesamtzahl	40	14	54
		74,1%	25,9%	100%

 $\hat{\alpha} = 0,064$, $r = -0,25$

4.2.2.3. Fragenkatalog Wohnumwelt (Wohnverhalten)

4.2.2.3.1. Einfache Häufigkeiten

Im folgenden werden einzelne Häufigkeiten bezüglich Wohnverhalten detailliert dargestellt.

In den mit Schimmel befallenen Wohnungen besteht zu 9,1% ständig und zu 60% gelegentlich hohe Luftfeuchtigkeit.

Unterschiede zwischen feuchten und trockenen Wohnungen bestehen hinsichtlich Raumtemperaturen. Die Bewohner der Vergleichswohnungen bevorzugten im Winter eine Raumtemperatur von mindestens 20°C, indessen befürwortet fast jeder neunte Bewohner einer feuchten Wohnung eine Temperatur von höchstens 20°C (s. Abbildung 20).

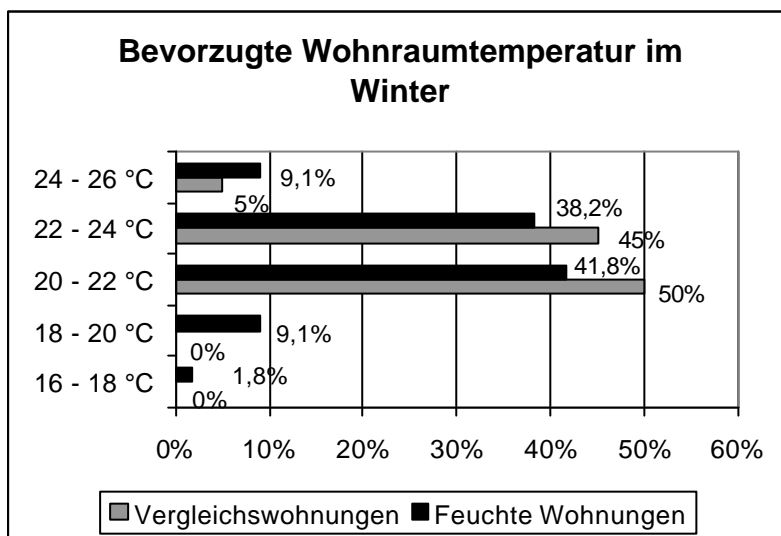


Abb. 20: Bevorzugte Wohnraumtemperatur im Winter

Obwohl die Bewohner feuchter Wohnungen niedrigere Temperaturen vorziehen, ist es in fast jeder dritten feuchten Wohnung den Bewohnern zu kalt. Die trockenen Wohnungen werden alle als wohlt temperiert eingestuft (s. Abbildung 21).

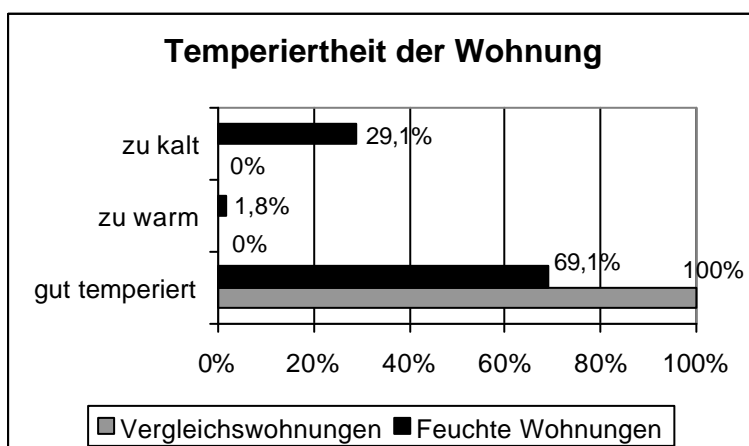


Abb. 21: Temperiertheit der Wohnung

Weiterhin empfinden die Bewohner von befallenen Wohnungen den Fußboden zu 36,4% bzw. 23,6% als sehr bzw. etwas fußkalt. In nicht befallenen Wohnungen sind dies 15% bzw. 35%.

Ein wichtiger Unterschied zwischen feuchten und trockenen Wohnungen betrifft die Temperaturabsenkung des am meisten mit Schimmel befallenen Raumes in der kalten Jahreszeit. Während in den Vergleichswohnungen überwiegend nur nachts (55%) die Temperatur abgesenkt wird, geschieht dies in den feuchten Wohnungen am Tage und nachts (36,4%) oder nur nachts (47,3%) (s. Abbildung 22).

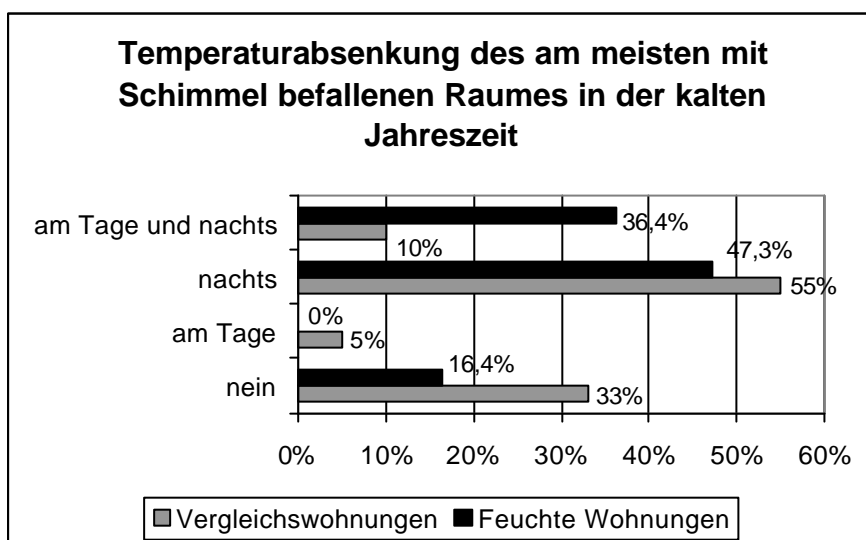


Abb. 22: Temperaturabsenkung des am meisten mit Schimmel befallenen Raumes in der kalten Jahreszeit

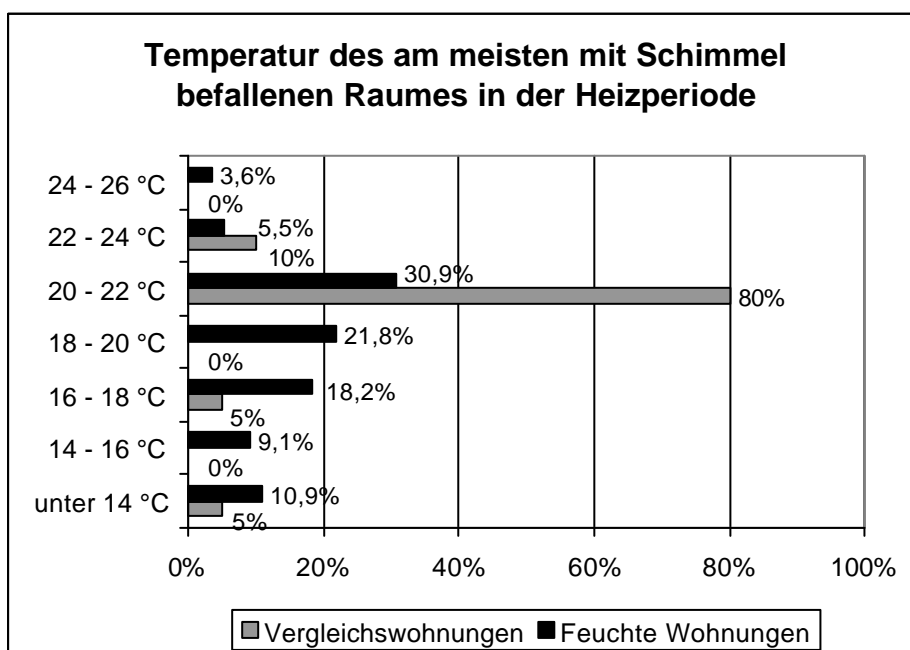


Abb. 23: Temperatur des am meisten mit Schimmel befallenen Raumes in der Heizperiode

Außerdem liegt die Temperatur des Raumes in befallenen Wohnungen in 60% unter 20°C, in trockenen ist dies nur bei 10% der Wohnungen der Fall (s. Abbildung 23).

Weiterhin steht in feuchten Wohnungen die Tür vom Raum mit der höchsten Feuchtigkeit zu 52,7% ständig und zu 25,5% zeitweilig offen. Der Vergleichsraum in den trockenen Wohnungen steht dagegen nur zu 25% ständig und zu 45% zeitweilig offen.

In mit Schimmel befallenen Wohnungen wird häufiger geduscht und gebadet als in trockenen Wohnungen. In 58,2% der feuchten Wohnungen und nur in 34,8% der Vergleichswohnungen finden in der Woche mehr als zwölf Dusch- und/oder Badevorgänge statt (s. Abbildung 24).

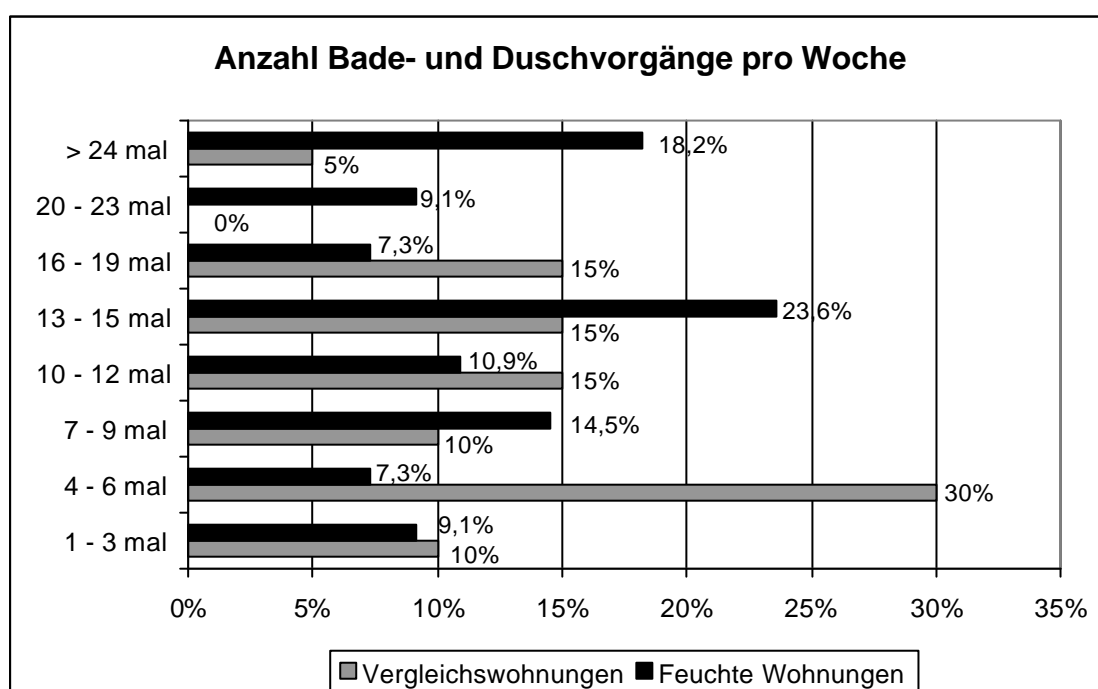


Abb. 24: Anzahl Bade- und Duschvorgänge pro Woche

Es wird auch mehr Wäsche in befallenen Wohnungen (49,1%) getrocknet als in unbefallenen Wohnungen (25%).

Haustiere (Hund, Katze, Vögel, Fische, Kleintiere u. a.) wurden in jeder dritten befallenen Wohnung (36,4%) und in jeder vierten (20%) nicht befallenen Wohnung angetroffen.

In mehr als jeder zweiten feuchten Wohnung (56,4%) finden sich Silberfischchen im Bad/WC, Küche und/oder einem Wohnraum, welche nur in 35% der trockenen Wohnungen vorkommen.

In mehr als jeder dritten befallenen (36,4%) aber nur in jeder fünften nicht befallenen Wohnung (20%) stehen Schrankwände an Außenwänden, wobei in 18,3% der feuchten Wohnungen der Abstand zwischen Wand und Schrank höchstens 5 cm beträgt. Dieser Wand-

Schrank-Abstand kommt aber nur in 5% der Vergleichswohnungen vor. Die Luftzirkulation der Heizung wird in 17,4% der feuchten Wohnungen durch Möbel, Gardinen, Verkleidungen und überstehende Fensterbretter behindert, aber nur in 5,3% der trockenen Wohnungen.

Die vorwiegende Lüftung von Herbst bis Frühling geschieht in befallenen Wohnungen am häufigsten durch Ankippen eines Kippflügelfensters (46,2%) oder durch starkes Öffnen eines Fensters (44,2%) und in unbefallenen Wohnungen vor allem durch starkes oder leichtes Öffnen eines Fensters (beide 36,8%) oder in 21,1% durch Ankippen. Die Bewohner jeder zweiten trockenen (50%) aber nur jeder dritten feuchten Wohnung (32,7%) lüften gleichmäßig das ganze Jahr über. Der Rest lüftet am meisten im Sommer (45% bzw. 58,2%).

In 30,6% der feuchten und 16,7% der trockenen Wohnungen sind Polstermöbel in großer Anzahl vorhanden, von denen 5,6% in feuchten Wohnungen verschimmeln.

An den Wänden ist überwiegend durchlässige Tapete (67,3% der feuchten und 85% der trockenen Wohnungen) zu finden, welche zu 48,1% in feuchten bzw. 63,2% in trockenen Wohnungen aus Raufaser, zu 29,6% in befallenen bzw. 31,6% in nicht befallenen Wohnungen aus Papier und in feuchten Wohnungen außerdem aus Plastik (3,7%) oder Thermomaterialien (1,9%) besteht. Weiterhin befinden sich an den Wänden noch diffusionsfähige Farbe (20% der feuchten und 5% der trockenen Wohnungen), undurchlässige Tapete (7,3% der befallenen Wohnungen) und undurchlässige Farbe bzw. Fliesen in Küchen und Bädern.

In 70,9% der feuchten Wohnungen ist ein modriger Geruch überwiegend nur in den mit Schimmelbefall betroffenen Zimmern wahrzunehmen.

4.2.2.3.2. Zusammenhang zwischen Wohnverhalten, trockenen Räumen und Räumen mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall

Die Variable *Anzahl der feuchten Räume* wurde mit 32 verschiedenen Variablen bezüglich des Wohnverhaltens korreliert.

Es besteht ein hoch signifikanter Zusammenhang ($\hat{\alpha}=0,00007$) zwischen der Temperatur des am meisten mit Schimmel befallenen Raumes und dem Auftreten von Schimmelpilzen. In 60% der feuchten Wohnungen liegt die Temperatur dieses Raumes unter 20°C. Dieser Temperaturbereich findet sich aber nur in jeder zehnten trockenen Wohnung (s. Tabelle 24).

Tab. 24: Zahl der befallenen Räume und Temperatur des am meisten mit Schimmel untersuchten Raumes in der Heizperiode

Zahl der befallenen Räume		20°C Raumtemperatur	> 20°C Raumtemperatur	Zahl der untersuchten Wohnungen
0	Anzahl	2	18	20
	% der Zeile	10%	90%	100%
	% der Gesamtzahl	2,7%	24%	26,7%
1 – 5	Anzahl	33	22	55
	% der Zeile	60%	40%	100%
	% der Gesamtzahl	44%	29,3%	73,3%
	Gesamtzahl	35	40	75
		46,7%	53,3%	100%

$$\hat{\alpha} = 0,00007 \quad r = -0,44$$

Ebenfalls liegt ein hochsignifikanter Zusammenhang ($\hat{\alpha}=0,006$) zwischen der Temperatur in der ganzen Wohnung und Schimmelpilzbefall vor. In 29,1% der feuchten Wohnungen geben die Bewohner an, dass ihre Wohnstätte zu kalt temperiert sei. Dagegen klagt kein einziger Bewohner einer trockenen Wohnung über kalte Temperaturen (s. Tabelle 25).

Tab. 25: Zahl der befallenen Räume und Temperiertheit der Wohnung

Zahl der befallenen Räume		Wohnung zu warm oder gut temperiert	Wohnung zu kalt	Zahl der untersuchten Wohnungen
0	Anzahl	20	0	20
	% der Zeile	100%	0%	100%
	% der Gesamtzahl	26,7%	0%	26,7%
1 – 5	Anzahl	39	16	55
	% der Zeile	70,9%	29,1%	100%
	% der Gesamtzahl	52,0%	21,3%	73,3%
	Gesamtzahl	59	16	75
		78,7%	21,3%	100%

$$\hat{\alpha} = 0,0061 \quad r = 0,31$$

Wahrscheinlich besteht auch ein Zusammenhang zwischen dem Trocknen von Wäsche in der Wohnung und Schimmelpilzbefall. In befallenen Wohnungen wird zu 24,1% häufiger Wäsche in der Wohnung getrocknet als in unbefallenen Wohnungen (s. Tabelle 26).

Tab. 26: Zahl der befallenen Räume und Wäsche trocknen in der Wohnung

Zahl der befallenen Räume		Keine Wäsche wird getrocknet	Wäsche (große und/oder kleine Stücke) wird getrocknet	Zahl der untersuchten Wohnungen
0	Anzahl	15	5	20
	% der Zeile	75%	25%	100%
	% der Gesamtzahl	20%	6,7%	26,7%
1 – 5	Anzahl	28	27	55
	% der Zeile	50,9%	49,1%	100%
	% der Gesamtzahl	37,3%	36%	73,3%
Gesamtzahl		43	32	75
		57,3%	42,7%	100%

$\hat{a} = 0,063$ $r = 0,22$

Eine Tendenz ist ebenfalls zwischen der Zahl der befallenen Räume und der Personenzahl in der Wohnung zu beobachten. In 58,2% der feuchten Wohnungen befinden sich drei oder mehr Bewohner in den Zimmern, aber nur in 35% der trockenen Wohnungen wohnen drei oder mehr als drei Personen (s. Tabelle 27).

Tab. 27: Zahl der befallenen Räume und Personenzahl in der Wohnung

Zahl der befallenen Räume		1 – 2 Personen	3 – 6 Personen	Zahl der untersuchten Wohnungen
0	Anzahl	13	7	20
	% der Zeile	65%	35%	100%
	% der Gesamtzahl	17,3%	9,3%	26,7%
1 – 5	Anzahl	23	32	55
	% der Zeile	41,8%	58,2%	100%
	% der Gesamtzahl	30,7%	42,7%	73,3%
Gesamtzahl		36	39	75
		48,0%	52,0%	100%

$\hat{a} = 0,077$ $r = 0,21$

Es lässt sich ebenfalls vermuten, dass ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Bade- und Duschvorgänge und Schimmelbefall besteht. Die Bewohner der feuchten Wohnungen

duschen bzw. baden insgesamt 23,2% öfter in der Woche die Bewohner der trockenen Wohnungen (s. Tabelle 28).

Tab. 28: Zahl der befallenen Räume und Anzahl der Bade- und Duschvorgänge

Zahl der befallenen Räume	1 – 12 mal pro Woche	mehr als 12 mal pro Woche	Zahl der untersuchten Wohnungen	
0	Anzahl	13	7	20
	% der Zeile	65%	35%	100%
	% der Gesamtzahl	17,3%	9,3%	26,7%
1 – 5	Anzahl	23	32	55
	% der Zeile	41,8%	58,2%	100%
	% der Gesamtzahl	30,7%	42,7%	73,3%
	Gesamtzahl	36	39	75
		48,0%	52,0%	100%

$\hat{a} = 0,077$ $r = 0,21$

In knapp drei Viertel (74,1%) der befallenen Wohnungen stehen Pflanzen am Fenster, die ganz oder teilweise verrückt werden müssen, um das Fenster zu öffnen. Im Gegensatz dazu müssen nur in annähernd jeder zweiten unbefallenen Wohnung (45,5%) die Pflanzen zur Fensterlüftung verstellt werden (s. Tabelle 29).

Tab. 29: Zahl der befallenen Räume und Pflanzen rücken zum Fenster öffnen

Zahl der befallenen Räume	Pflanzen müssen nicht verrückt werden	Pflanzen müssen ganz oder teilweise verrückt werden	Zahl der untersuchten Wohnungen	
0	Anzahl	6	5	11
	% der Zeile	54,5%	45,5%	100%
	% der Gesamtzahl	15,8%	13,2%	28,9%
1 – 5	Anzahl	7	20	27
	% der Zeile	25,9%	74,1%	100%
	% der Gesamtzahl	18,4%	52,6%	71,1%
	Gesamtzahl	13	25	38
		34,2%	65,8%	100%

$\hat{a} = 0,097$ $r = 0,27$

Ferner besteht ein wahrscheinlicher Zusammenhang zwischen der Art der Tapete und Schimmelbefall. In jeder vierten bis fünften feuchten Wohnung (22,2%) befindet sich

entweder eine Plastik- oder Thermo- oder es ist keine Tapete bzw. ein nicht sorptionsfähiger Anstrich vorhanden. Diese Tapetenarten bzw. keine Tapete trifft man aber nur in jeder zwanzigsten trockenen Wohnung (5,3%) an (s. Tabelle 30).

Tab. 30: Zahl der befallenen Räume und Art der Tapete

Zahl der befallenen Räume	Raufaser- oder Papiertapete	Plastik-, Thermo- oder keine Tapete	Zahl der untersuchten Wohnungen	
0	Anzahl	18	1	19
	% der Zeile	94,7%	5,3%	100%
	% der Gesamtzahl	24,7%	1,4%	26,0%
1 – 5	Anzahl	42	12	54
	% der Zeile	77,8%	22,2%	100%
	% der Gesamtzahl	57,5%	16,4%	74,0%
	Gesamtzahl	60	13	73
		82,2%	17,8%	100%

$\hat{a} = 0,099$ $r = 0,19$

4.2.2.3.3. Zusammenhang zwischen Wohnverhalten und Fläche des Schimmelpilzbefalls in feuchten Räumen

Die Variable *Quadratmeter des Befalls* wurde mit 32 verschiedenen Variablen bezüglich des Wohnverhaltens korreliert.

Die Fläche des Schimmelpilzbefalls korreliert hochsignifikant bzw. signifikant mit der Art der Tapete. In 38,5% der Wohnungen mit einer Befallsfläche von mehr als 1,3 m² (Mittelwert) befindet sich vorrangig eine Plastik-, Thermo- oder keine Tapete, d. h. nicht sorptionfähige Anstriche an den Wänden und/oder Decken. Aber nur in 7,4% der Wohnungen mit kleinerer Befallsfläche findet man hauptsächlich diese Tapetenarten bzw. keine Tapete (s. Tabelle 31).

Weitere Korrelationsanalysen ergaben, dass in Wohnungen mit sichtbar größerem Befall 23% häufiger keine Tapete vorhanden ist als in Wohnungen mit kleinerem Befall und dass sich in 15,8% der stärker befallenen Wohnungen aber in 0% der schwächer befallenen Wohnungen überwiegend eine Plastik- oder Thermo- oder keine Tapete befindet (s. Tabelle 32).

Tab. 31: Quadratmeter des Schimmelbefalls und Art der Tapete (1)

Fläche des Schimmelbefalls		Raufaser- oder Papiertapete	Plastik-, Thermo- oder keine Tapete	Zahl der untersuchten Wohnungen
1,3 m²	Anzahl	25	2	27
	% der Zeile	92,6%	7,4%	100%
	% der Gesamtzahl	47,2%	3,8%	50,9%
> 1,3 m²	Anzahl	16	10	26
	% der Zeile	61,5%	38,5%	100%
	% der Gesamtzahl	30,2%	18,9%	49,1%
Gesamtzahl		41	12	53
		77,4%	22,6%	100%

 $\hat{a} = 0,0063$ $r = 0,37$ **Tab. 32: Quadratmeter des Schimmelbefalls und Art der Tapete (2)**

Fläche des Schimmelbefalls	keine Tapete	Raufaser- oder Papiertapete	Zahl der untersuchten Wohnungen	Raufaser- oder Papiertapete	Plastik- oder Thermo-tapete	Zahl der untersuchten Wohnungen	
1,3 m²	Anzahl	2	25	25	0	25	
	% der Zeile	7,4%	92,6%	100%	0,0%	100%	
	% der Gesamtzahl	4,0%	50%	54,0%	56,8%	0,0%	56,8%
> 1,3 m²	Anzahl	7	16	16	3	19	
	% der Zeile	30,4%	69,6%	100%	84,2%	15,8%	100%
	% der Gesamtzahl	14,0%	32,0%	46,0%	36,4%	6,8%	43,2%
Gesamtzahl		9	41	41	3	44	
		18,0%	82,0%	100%	93,2%	6,8%	100%

 $\hat{a} = 0,035$ $r = -0,30$ $\hat{a} = 0,040$ $r = 0,31$

Ein Zusammenhang zwischen Fläche des Schimmelbefalls und Wäsche waschen bzw. kochen in der Küche scheint wahrscheinlich. In den Wohnungen mit mehr als 1,3 m² Schimmelbefall wird 18,5% häufiger Wäsche in der Küche gewaschen als in Wohnungen mit weniger Befall (s. Tabelle 33).

Tab. 33: Quadratmeter des Schimmelbefalls und Wäsche waschen in der Küche

Fläche des Schimmelbefalls		kein Wäschewaschen bzw. -kochen in der Küche	Wäschewaschen und/oder -kochen in der Küche	Zahl der untersuchten Wohnungen
1,3 m²	Anzahl	25	2	27
	% der Zeile	92,6%	7,4%	100%
	% der Gesamtzahl	46,3%	3,7%	50,0%
> 1,3 m²	Anzahl	20	7	27
	% der Zeile	74,1%	25,9%	100%
	% der Gesamtzahl	37,0%	13,0%	50,0%
Gesamtzahl		45	9	54
		83,3%	16,7%	100%

 $\hat{a} = 0,070$ $r = 0,25$

Die Wohnungen mit größerer befallener Fläche sind zu 14,8% häufiger in der Übergangszeit und/oder im Winter zeitweise unbeheizt als die weniger befallenen Wohnungen. Hier liegt gleichfalls eine trendwertig signifikante Korrelation vor (s. Tabelle 34).

Tab. 34: Quadratmeter des Schimmelbefalls und Wohnung zeitweise unbeheizt (kalte Jahreszeit)

Fläche des Schimmelbefalls		Wohnung nicht unbeheizt	Wohnung im Winter und/oder in der Übergangszeit zeitweise unbeheizt	Zahl der untersuchten Wohnungen
1,3 m²	Anzahl	26	1	27
	% der Zeile	96,3%	3,7%	100%
	% der Gesamtzahl	48,1%	1,9%	50,0%
> 1,3 m²	Anzahl	22	5	27
	% der Zeile	81,5%	18,5%	100%
	% der Gesamtzahl	40,7%	9,3%	50,0%
Gesamtzahl		48	6	54
		88,9%	11,1%	100%

 $\hat{a} = 0,086$ $r = 0,24$

4.2.2.4. Fragenkatalog Mikrobiologie

4.2.2.4.1. Einfache Häufigkeiten

Die Ergebnisse der Luftkeim- und Abklatschuntersuchungen sowie der klimatischen Parameter wurden schon in Kapitel 4.2.1. – Ergebnisse der standardisierten Messungen und Probennahme – aufgeführt.

Die Abklatschproben wurden in feuchten und trockenen Wohnungen am häufigsten an Raufastertapeten (34,7% bzw. 50%), Papiertapeten (27% bzw. 33,3%), Kalkanstrich (21,7% bzw. 11,1%) und Holz (4,7% bzw. 5,6%) vorgenommen. Zusätzlich fand in befallenen Wohnungen die Abklatschuntersuchung zu 7,8% an Putz, zu 3,1% an Beton und zu 1% an einem dichten Anstrich (Öl) statt. Insgesamt wurden 213 Räume von feuchten Wohnungen untersucht. Von diesen Zimmern waren 45,1% nicht befallen (sogenannte Vergleichszimmer), 26,3% leicht, 22,5% mittel und 5,6% schwer mit Schimmel befallen.

4.2.2.4.2. Zusammenhang zwischen Sporenzahl und Schwere des Befalls

Für jeden einzelnen Raum wurden die Variablen *durchschnittliche Sporenzahl der Luft*, *durchschnittliche Sporenzahl der befallenen Stelle* und *durchschnittliche Sporenzahl der unbefallenen Stelle* mit der Variable *Schwere des Befalls* (nicht, leicht, mittel oder schwer befallen) korreliert.

Durchschnittliche Sporenzahl der Luft

Eine signifikante Korrelation besteht zwischen der Sporenzahl in der Luft im Bad/WC und der subjektiven Einschätzung der Schwere des Befalls. Die Wohnungen mit den höchsten Sporenzahlen im Bad/WC wurden zu 43,6% häufiger als leicht, mittel oder schwer befallen bzw. zu 66,7% häufiger als schwer befallen eingeschätzt als die Wohnungen mit niedrigeren Luftsporenzahlen im Bad/WC. Bei letzterem Zusammenhang liegt sogar eine mittelstarke Korrelation ($r=0,75$) vor (s. Tabelle 35).

Zwischen der Sporenzahl in der Luft im Kinderzimmer und der subjektiven Einschätzung der Schwere des Befalls ist ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang vorhanden. In 100% der Wohnungen mit hohen Sporenzahlen aber nur in 41,2% der Wohnungen mit niedrigen Sporenzahlen in der Luft im Kinderzimmer war subjektiv ein leichter, mittlerer oder schwerer Befall wahrnehmbar (s. Tabelle 36).

Tab. 35: Sporenzahl in der Luft im Bad/WC und Schwere des Befalls

Sporenzahl in der Luft in KBE/m ³	nicht befallen	leicht, mittel oder schwer befallen	Zahl der untersuchten Wohnungen	leicht befallen	schwer befallen	Zahl der untersuchten Wohnungen
1.546 (Mittelwert)						
Anzahl	11	8	19	5	0	5
% der Zeile	57,9%	42,1%	100%	100%	0,0%	100%
% der Gesamtzahl	42,3%	30,8%	73,1%	62,5%	0,0%	62,5%
> 1.546 (Mittelwert)						
Anzahl	1	6	7	1	2	3
% der Zeile	14,3%	85,7%	100%	33,3%	66,7%	100%
% der Gesamtzahl	3,8%	23,1%	26,9%	12,5%	25,0%	37,5%
Gesamtzahl	12	14	26	6	2	8
	46,2%	53,8%	100%	75,0%	25,0%	100%
$\hat{a} = 0,050$ $r = 0,39$				$\hat{a} = 0,034$ $r = 0,75$		

Tab. 36: Sporenzahl in der Luft im Kinderzimmer und Schwere des Befalls

Sporenzahl in der Luft in KBE/m ³	nicht befallen	leicht, mittel oder schwer befallen	Zahl der untersuchten Wohnungen
1.983 (Mittelwert)			
Anzahl	20	14	34
% der Zeile	58,8%	41,2%	100%
% der Gesamtzahl	54,1%	37,8%	91,9%
> 1.983 (Mittelwert)			
Anzahl	0	3	3
% der Zeile	0,0%	100%	100%
% der Gesamtzahl	0,0%	8,1%	8,1%
Gesamtzahl	20	17	37
	54,1%	45,9%	100%
$\hat{a} = 0,052$ $r = 0,32$			

4.2.2.5. Fragenkatalog Gesundheit

4.2.2.5.1. Einfache Häufigkeiten

Die Gesundheitsfragen wurden nur von den Bewohnern mit gesundheitlichen Beschwerden der feuchten Wohnungen beantwortet. Vor allem Kinder zwischen null und zehn Jahren und junge Erwachsene zwischen zwanzig und dreißig Jahren sind nach den Aussagen der Bewohner zu je 22,4% von Gesundheitsproblemen betroffen (s. Abbildung 25).

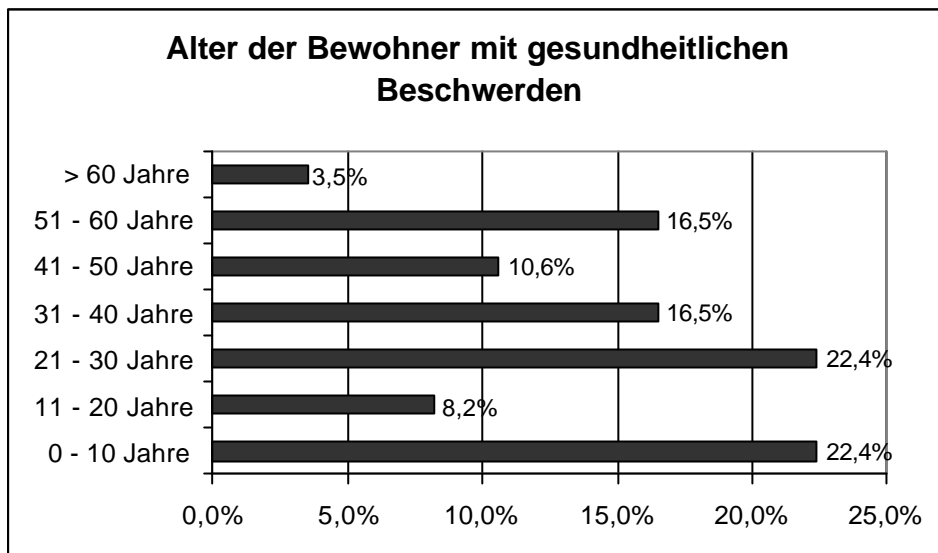


Abb. 25: Alter der Bewohner mit gesundheitlichen Beschwerden

Die Haushaltsmitglieder mit Gesundheitsstörungen sind zu 51,8% weiblich und zu 48,2% männlich. Die Hälfte der betroffenen Kleinkinder (52,9%) besucht eine Kindertagesstätte. Knapp ein Drittel (32,9%) litten an einer spastischen Bronchitis und/oder Milchschorf bzw. Säuglingsekzem in der Kindheit.

Fast jeder zweite Bewohner (43,5%) berichtet an mindestens einer Allergie zu leiden, 20% davon mit familiärer Vorbelastung. Die Allergie äußert sich überwiegend als allergischer Schnupfen (27%), Hautekzem (21,6%), Bronchialasthma (10,8%) oder als Kombination von mehreren Symptomen (29,7%). Ungefähr jeder dritte allergische Bewohner (32,4%) gibt außer den oben genannten Symptomen zusätzliche Manifestationen der Allergie in Form von gastrointestinalen Störungen, Urtikaria bzw. Angioödem, Kreislaufsymptome oder Kombinationen dieser Ausprägungen an. Größtenteils besteht eine Allergie gegen Pollen (27%), Milben und Pollen (16,2%), Milben, Pollen und Tierhaar (10,8%) und Milben (8,1%). Bei 14,1% der allergischen Bewohner wurde vor der Untersuchung schon eine Schimmelpilzallergie nachgewiesen.

Zum Zeitpunkt der Wohnungsuntersuchung bestanden bei den Bewohnern folgende Symptome: Schnupfen (29,5%), Bronchialasthma (14,1%), Schnupfen und Bronchialasthma (12,8%), Husten und Atemnot (6,4%), Schnupfen, Bindehautentzündung und Bronchialasthma (3,8%), Schnupfen und Bindehautentzündung (2,6%), Husten und Bindehautentzündung (1,3%) und Bindehautentzündung (1,3%).

Die oben genannten Symptome weisen 82,8% der Bewohner auf seitdem Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall in ihrer Wohnung bestehen und sie treten bei jedem Zweiten (47,7%) ganzjährig, bei jedem Dritten (33,8%) saisonal und bei 18,5% episodisch auf.

Besonders innerhalb der Wohnung leiden 64,6% der Bewohner an ihren Beschwerden, welche sich bei kurzem Aufenthalt außerhalb der Wohnung zu 36,9% verbessern und bei längerem Aufenthalt außerhalb der Wohnung zu 46,2% verbessern und zu 20% verschwinden.

Die Bewohner fühlen sich durch folgende Symptome in ihrer Gesundheit beeinträchtigt: trockene Haut (56,5%), trockene Schleimhäute (52,0%), Kopfschmerzen (40%), Konzentrationsschwäche, schnelle Ermüdbarkeit (30,6%), unangenehme Geruchs-/Geschmacksempfindungen (17,6%) und Schwindelgefühle (15,3%) (s. Abbildung 26).

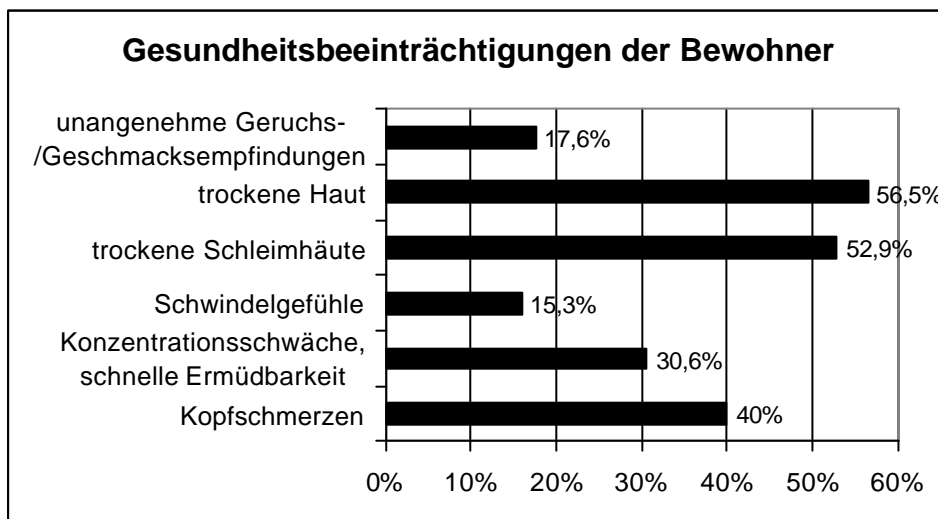


Abb. 26: Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bewohner

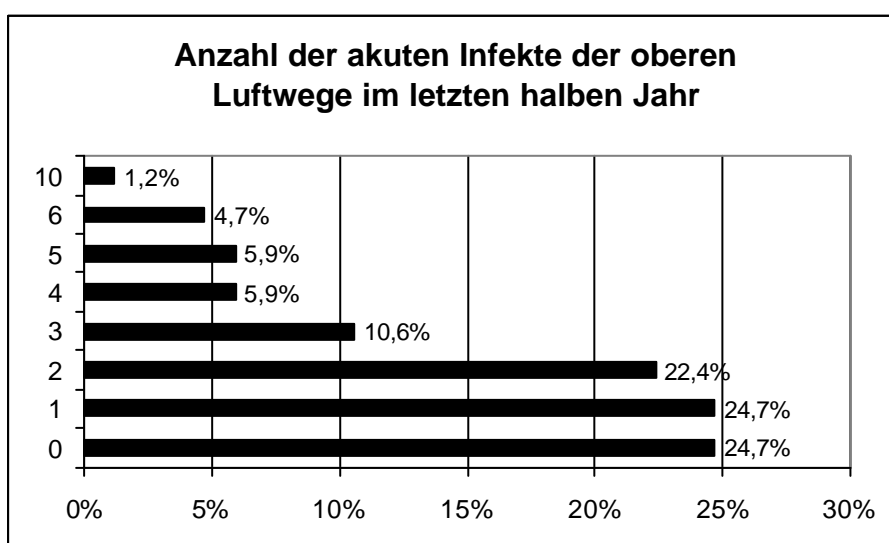


Abb. 27: Anzahl der akuten Infekte der oberen Luftwege im letzten halben Jahr

Drei Viertel der Bewohner (75,3%) erkrankten im letzten halben Jahr vor der Untersuchung an einem oder mehreren akuten Infekten der oberen Luftwege (s. Abbildung 27).

An einer Blutuntersuchung bezüglich positiver IgE-Reaktionen nahmen acht Personen teil. Positive IgE-Reaktionen hinsichtlich *Penicillium notatum* und *Cladosporium herbarum* konnte bei jeweils einer Person, hinsichtlich *Dermatophagoides pteronyssinus* und *Dermatophagoides farinae* bei jeweils zwei und hinsichtlich *Alternaria* bei drei Personen nachgewiesen werden.

Bei elf Personen wurde ein Hauttest (Prick-Test) durchgeführt. Auf das Allergen *Alternaria* reagierten fünf Personen, auf *Dermatophagoides farinae* vier, auf *Dermatophagoides pteronyssinus* drei, auf *Aspergillus* zwei Personen und auf *Cladosporium* eine Person positiv.

4.2.2.5.2. Zusammenhang zwischen Gesundheitsstörungen und Anzahl der feuchten Räume

Die Variable *Anzahl der feuchten Räume* wurde mit 24 verschiedenen Variablen bezüglich berichteter Gesundheitsstörungen korreliert.

Ein hochsignifikanter Zusammenhang wurde zwischen der Zahl der befallenen Räume und dem Vorhandensein von trockener bzw. juckender, stechender oder brennender Haut festgestellt. Die Bewohner von Wohnungen mit mindestens zwei befallenen Räumen leiden 34% häufiger an dieser Gesundheitsstörung als Bewohner von Wohnungen mit nur einem befallenen Raum (s. Tabelle 37).

Ein trendwertiger Zusammenhang kommt ebenfalls zwischen der Zahl der befallenen Räume und Allergien vor. 18,2% der Bewohner von Wohnungen mit nur einem befallenen Raum aber 50,0% der Bewohner von Wohnungen mit mindestens zwei befallenen Räumen klagen über wenigstens zwei klinischen Symptomen einer Allergie, wie z. B. Bronchialasthma, Ekzem oder allergischer Schnupfen (s. Tabelle 38).

Tab 37: Zahl der befallenen Räume und trockene Haut bzw. Jucken, Stechen oder Brennen der Haut

Zahl der befallenen Räume	keine trockene Haut	trockene Haut	Zahl der untersuchten Wohnungen	
1	Anzahl	16	7	23
	% der Zeile	69,6%	30,4%	100%
	% der Gesamtzahl	19,5%	8,5%	28,0%
2 – 5	Anzahl	21	38	59
	% der Zeile	35,6%	64,4%	100%
	% der Gesamtzahl	25,6%	46,3%	72,0%
	Gesamtzahl	37	45	82
		45,1%	54,9%	100%

$\hat{a} = 0,0051$ $r = 0,31$

Tab. 38: Zahl der befallenen Räume und Anzahl der allergischen Symptome

Zahl der befallenen Räume	nur 1 Symptom (Bronchialasthma, Ekzem, allergischer Schnupfen)	mindestens 2 verschiedene Symptomausprägungen	Zahl der untersuchten Wohnungen	
1	Anzahl	9	2	11
	% der Zeile	81,8%	18,2%	100%
	% der Gesamtzahl	24,3%	5,4%	29,7%
2 – 5	Anzahl	13	13	26
	% der Zeile	50,0%	50,0%	100%
	% der Gesamtzahl	35,1%	35,1%	70,3%
	Gesamtzahl	22	15	37
		59,5%	40,5%	100%

$\hat{a} = 0,075$ $r = 0,30$

Zwischen der Zahl der befallenen Räume und der Anzahl der akuten Infekte der Bewohner im letzten halbem Jahr zeichnet sich gleichfalls ein wahrscheinlicher Zusammenhang ab. 56% der Bewohner von Wohnungen mit mindestens zwei befallenen Räumen aber nur 34,8% der Bewohner von Wohnungen mit nur einem befallenen Raum litten im letzten halbem Jahr an wenigstens zwei Infekten der oberen Luftwege (s. Tabelle 39).

Tab. 39: Zahl der befallenen Räume und Anzahl der akuten Infekte der oberen Luftwege im letzten halbem Jahr

Anzahl der Infekte	1 befallener Raum	2 – 5 befallene Räume	Zahl der untersuchten Wohnungen	
0	Anzahl	8	12	20
	% der Spalte	34,8%	20,3%	
	% der Gesamtzahl	9,8%	14,6%	24,4%
1	Anzahl	7	14	21
	% der Spalte	30,4%	23,7%	
	% der Gesamtzahl	8,5%	17,1%	25,6%
2	Anzahl	3	14	17
	% der Spalte	13,0%	23,7%	
	% der Gesamtzahl	3,7%	17,1%	20,8%
3	Anzahl	3	6	9
	% der Spalte	13,0%	10,2%	
	% der Gesamtzahl	3,7%	7,3%	11,0%
4	Anzahl	0	5	5
	% der Spalte	0,0%	8,5%	
	% der Gesamtzahl	0,0%	6,1%	6,1%
5	Anzahl	2	3	5
	% der Spalte	8,7%	5,1%	
	% der Gesamtzahl	2,4%	3,7%	6,1%
6	Anzahl	0	4	4
	% der Spalte	0,0%	6,8%	
	% der Gesamtzahl	0,0%	4,9%	4,9%
10	Anzahl	0	1	1
	% der Spalte	0,0%	1,7%	
	% der Gesamtzahl	0,0%	1,2%	1,2%
	Gesamtzahl	23	59	82
		28,0%	72,0%	100%
	% der Spalte	100%	100%	

$\hat{a} = 0,095$ $r = 0,19$

4.2.2.5.3. Zusammenhang zwischen Gesundheitsstörungen und Fläche des Schimmelpilzbefalls

Die Variable *Quadratmeter des Befalls* wurde mit 24 verschiedenen Variablen bezüglich berichteter Gesundheitsstörungen korreliert.

Die Fläche des Schimmelbefalls korreliert signifikant mit der Anzahl der klinischen Symptome einer Allergie. Je größer der Befall, desto eher geben die Bewohner mindestens zwei klinischen Ausprägungen einer Allergie an. Die Bewohner von Wohnungen mit einer befallenen Fläche von mehr als 1,3 m² (Mittelwert) berichten zu 35,7% häufiger von mindestens zwei Symptomen, wie z. B. Bronchialasthma, Ekzem oder allergischen Schnupfen, als Bewohner von Wohnungen mit niedriger Befallsfläche (s. Tabelle 40).

Tab. 40: Quadratmeter des Schimmelbefalls und Anzahl der allergischen Symptome

Fläche des Schimmelbefalls		Bronchialasthma, Ekzem oder allergischer Schnupfen	mindestens 2 verschiedene Symptome	Zahl der untersuchten Wohnungen
1,3 m²	Anzahl	14	4	18
	% der Zeile	77,8%	22,2%	100%
	% der Gesamtzahl	37,8%	10,8%	48,6%
> 1,3 m²	Anzahl	8	11	19
	% der Zeile	42,1%	57,9%	100%
	% der Gesamtzahl	21,6%	29,7%	51,4%
Gesamtzahl		22	15	37
		59,5%	40,5%	100%

$\hat{a} = 0,027$ $r = 0,36$

5. Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Erkennung der Ursachen und begünstigenden Faktoren von erhöhter Feuchtigkeit und daraus resultierendem Schimmelpilzwachstum in Innenräumen ist eine entscheidende Voraussetzung, um das Auftreten von Schimmelpilzen erfolgreich bekämpfen bzw. verhindern zu können, da diese, ihre Sporen und sekundäre Stoffwechselprodukte (z. B. Mykotoxine) Gesundheitsstörungen und leichte bis schwere und sogar tödliche Erkrankungen hervorrufen können (MÜLLER-WENIG, 1990).

In der vorliegenden Arbeit wurden ausgewählte bau- und wohnraumhygienische Einflussfaktoren auf Feuchtigkeit und Schimmelbefall verbunden mit Luftkeim-, Oberflächenkeim- und klimatischen Analysen in 55 feuchten und 20 trockenen Wohnungen der Stadt Jena und Umgebung untersucht.

Verschiedene Autoren geben zahlreiche Beurteilungskriterien zur Einschätzung einer Innenraumluftbelastung mit Schimmelpilzsporen. Nach OHGKE et al., 1987; SENKPIEL und OHGKE, 1992 und SENKPIEL et al., 1999 deutet eine Innenraumluftbelastung, die mehr als 100 KBE/m³ über der Außenluft liegt, auf eine intramurale Schimmelpilzbelastung hin. Dies ist ein Erfahrungswert für das Vorhandensein einer aerogenen Schimmelpilzbelastung in der Innenraumluft. Als akzeptable Konzentration wird laut WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION 31, 1990a) eine Schimmelpilzbelastung aus Innenraumquellen bis zu 150 KBE/m³ Luft angesehen, wenn es sich um eine Mischpopulation von Schimmelpilzen handelt. Die Anwendung dieser Kriterien auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie ergibt, dass in allen befallenen Räumen der feuchten Wohnungen außer im Wohnzimmer diese Orientierungswerte z. T. mehrfach überschritten wurden (s. Tabelle 41).

Die höchste Differenz zwischen Innenraumluft befallener Zimmer feuchter Wohnungen und Außenluft findet sich im Wohnschlafzimmer. Hier liegt die Schimmelpilzsporenkonzentration durchschnittlich 3.249 KBE/m³ über der in der Außenluft. Die niedrigste Differenz weist das Wohnzimmer auf. Hier liegt die Schimmelpilzsporenkonzentration unter der in der Außenluft. Letzteres kann dadurch zustande gekommen sein, dass vor der Messung entgegen der Anweisung das Zimmer gelüftet wurde und die Zimmertür zu einem unbefallenen Raum offen stand.

Die Orientierungswerte 100 KBE/m³ Luft bzw. 150 KBE/m³ Luft über der Außenluft wurden in den unbefallenen Zimmern der feuchten Wohnungen nur im Bad/WC mit einer Differenz von 225 KBE/m³ Luft und im Kinderzimmer mit einer Differenz von 181 KBE/m³ Luft

überschritten. Hier kann aufgrund von offen stehenden Türen zu befallenen Zimmern die mit Schimmelpilzsporen reichere Luft in den jeweiligen Raum gelangt sein.

In den Zimmern der Vergleichswohnungen liegen die Schimmelpilzsporenkonzentrationen bis auf eine Ausnahme unter der Konzentration der Außenluft (s. Tabelle 41). Im Flur/ Keller/ Abstellraum zeigt sich eine hohe Differenz der Schimmelpilzbelastung zwischen Innenraumlufte und Außenluft von 756 KBE/m³ Luft. Das bedeutet, dass auch in einigen Vergleichswohnungen ein intramuraler Schimmelbefall in diesen Räumen vorhanden sein muss, der zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht sichtbar bzw. verdeckt (z. B. hinter Schränken) war.

Zimmer Wohnung	Gesamte Wohnung	Wohn- zimmer	Wohn- schlaf- zimmer	Schlaf- zimmer	Kinder- zimmer	Küche	Bad/WC	Flur/ Keller/ Abstellraum
Feuchte Wohnungen/ befallene Zimmer	1.677	< 0 (n=19)	3.249 (n=3)	1.611 (n=14)	1.908 (n=21)	2.994 (n=17)	544 (n=23)	1.566 (n=18)
Feuchte Wohnungen/ unbefallene Zimmer	<0	< 0 (n=28)	< 0 (n=6)	< 0 (n=11)	181 (n=13)	< 0 (n=20)	225 (n=8)	< 0 (n=11)
Vergleichs- wohnungen	<0	< 0 (n=7)	< 0 (n=2)	(n=0)	< 0 (n=3)	< 0 (n=5)	< 0 (n=2)	756 (n=1)

Tab. 41: Schimmelpilzdifferenzen (in KBE/m³) zwischen Innenraumlufte und Außenluft (Durchschnittswerte), Vergleich feuchte Wohnungen/ befallene Zimmer, feuchte Wohnungen/ unbefallene Zimmer und Vergleichswohnungen

Die dazugehörigen Signifikanzen sind in Tabelle 42 dargestellt. Hohe Signifikanzen zeigen sich sowohl im Vergleich feuchte Wohnungen/ befallene Zimmer mit feuchten Wohnungen/ unbefallene Zimmer ($\hat{\alpha}=0,000$) als auch im Vergleich feuchte Wohnungen/ befallene Zimmer mit Vergleichswohnungen ($\hat{\alpha}=0,001$) in bezug auf alle Räume in den Wohnungen.

Der Vergleich feuchte Wohnungen/ unbefallene Zimmer mit Vergleichswohnungen in bezug auf alle Räume in der Wohnung, weiterhin die Gegenüberstellungen des Raumes „Schlafzimmer“ in feuchten Wohnungen/ befallene Zimmer und in feuchten Wohnungen/ unbefallene Zimmer ($\hat{\alpha}=0,02$) und des Raumes „Bad/WC“ in feuchten Wohnungen/ unbefallene Zimmer und in Vergleichswohnungen ($\hat{\alpha}=0,064$) sowie in feuchten Wohnungen/ befallene Zimmer und in Vergleichswohnungen ($\hat{\alpha}=0,096$) ergeben Signifikanzen bzw. trendwertige Signifikanzen.

Signifikanz (zweiseitig) á	Gesamte Wohnung	Wohnzimmer	Wohnschlafzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Küche	Bad/WC	Flur/Keller/Abstellraum
befallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,001	0,83	0,80		0,35	0,12	0,096	0,32
unbefallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,019	0,89	0,43		0,37	0,18	0,064	0,33
befallene/ unbefallene Zimmer	0,000	0,60	0,38	0,02	0,64	0,60	0,33	0,11

Tab. 42: Signifikanzen hinsichtlich der Schimmelpilzdifferenzen (in KBE/m³) zwischen Innenraumlufte und Außenluft in den verschiedenen Zimmern der feuchten und Vergleichswohnungen

HOLMBERG, 1987; SENKPIEL et al., 1999 und SENKPIEL und OHGKE, 2001 empfehlen einen vorläufigen Orientierungswert der mesophilen Mischpopulation in der Innenraumlufte von rund 250 KBE/m³ in der kälteren Jahreszeit. Dieser wurde in den befallenen Zimmern feuchter Wohnungen im Wohnzimmer nicht, im Bad/WC zweifach und in jedem anderen Raum mindestens sechsfach und auch in einigen Zimmern von Vergleichswohnungen (im Flur/ Keller/ Abstellraum dreifach) überschritten.

In der Außenluft bilden *Cladosporium* spp. und *Alternaria* spp. den Hauptanteil der Schimmelpilze, wobei auch *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. und *Mucor* spp. vorkommen können (KREMPL-LAMPRECHT, 1985; RICHARDSON, 1998; MORISKE, 2001). Die Mittelwerte von den fakultativ pathogenen Aspergillen (*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus terreus*) liegen unter 10 KBE/m³ Luft. Dagegen werden in Innenräumen am häufigsten Pilze der Gattungen *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria* und *Cladosporium* gefunden (RICHARDSON, 1998; MORISKE, 2001).

In unserer Studie kamen in der Außenluft durchschnittlich 784 KBE/m³ Keime vor. Am häufigsten wurden die Pilzgattungen *Penicillium*, *Cladosporium*, *Rhodotorula* und *Aspergillus*, weiterhin *Alternaria*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Epicoccum*, *Candida* und *Acremonium* gefunden. In der Innenraumlufte von befallenen Zimmern feuchter Wohnungen wurden durchschnittlich 2.461 KBE/m³ Keime gemessen. Hier waren am zahlreichsten die Pilzgattungen *Aspergillus* mit 1.458 KBE/m³ Luft, *Penicillium*, *Cladosporium* und *Rhodotorula*. Weiterhin kamen noch *Candida*, *Acremonium*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Epicoccum* und *Mucor* vor. Unbefallene Zimmer feuchter Wohnungen zeigten eine durchschnittliche Keimbelastung von 672 KBE/m³ Luft, wobei die Pilzgattungen *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Acremonium*, *Rhodotorula*, *Epicoccum*, *Candida*,

Botrytis, Alternaria und Mucor nachgewiesen wurden. In den Vergleichswohnungen wurden durchschnittlich 504 KBE/m³ Keime in der Luft gefunden. Als Pilzgattungen wurden überwiegend Penicillium, Cladosporium, Aspergillus und außerdem Alternaria, Rhodotorula, Candida, Epicoccum, Botrytis und Fusarium gefunden.

Keimart	Außenluft	Feuchte Wohnungen/ befallene Zimmer	Feuchte Wohnungen/ unbefallene Zimmer	Vergleichs- wohnungen
Durchschnittliche Sporenzahl	784	2.461	672	504
Aspergillus	29	1.458	131	31
Penicillium	237	703	375	137
Cladosporium	219	180	99	53
Fusarium	2	1	3	0
Alternaria	10	2	1	9
Acremonium	9	1	1	0
Botrytis	2	1	1	0
Epicoccum	2	1	1	2
Mucor	0	1	1	0
Stemphylium	1	1	1	0
Candida	1	1	1	1
Rhodotorula	39	4	5	2

Tab. 43: Vorkommende Schimmelpilzgattungen und ihre Häufigkeit in der Außenluft und in der Innenluft feuchter und Vergleichswohnungen (in KBE/m³)

Während sich die gefundenen Schimmelpilzgattungen in der Außenluft und in der Innenraumluft von feuchten und Vergleichswohnungen unwesentlich unterscheiden, zeigen sich bezüglich ihrer Häufigkeit große Unterschiede (s. Tabelle 43). Die am zahlreichsten vorkommenden Pilzgattungen der Außenluft sind Penicillium und Cladosporium, welche im Vergleich mit den trockenen Wohnungen eine höhere Sporenzahl aufweisen. Die dominierende Gattung in der Innenraumluft befallener Zimmer feuchter Wohnungen ist der potentiell gesundheitsgefährdende Aspergillus, welcher in einer fünfzigfach höheren Konzentration als in der Außenluft vorliegt und gut elf mal häufiger als in den unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen und siebenundvierzig mal häufiger als in den Vergleichswohnungen ist. Außerdem wurden in befallenen Zimmern feuchter Wohnungen knapp drei mal mehr Penicilliumsporen als in der Außenluft gefunden. Unbefallene Zimmer feuchter Wohnungen zeigten eine 4,5-fach erhöhte Konzentration von Aspergillussporen und eine 1,5-fach erhöhte Konzentration von Penicillium- und Fusariumsporen gegenüber der

Außenluft. In der Luft der Vergleichswohnungen befanden sich überwiegend *Penicillium*, *Aspergillus* und *Cladosporium*, welche im Vergleich mit der Außenluft bis auf *Aspergillus*, der nur in einer minimal höheren Konzentration vorkam, in niedrigeren Konzentrationen vorlagen.

Neben der akzeptablen Gesamt-KBE-Konzentration werden noch weitere Kriterien zur Beurteilung von Schimmelbefall herangezogen. Laut WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION 31, 1990a) ist die Anwesenheit von pathogenen und toxinogenen Schimmelpilzen (z. B. *Aspergillus fumigatus*, *Stachybotrys atra*) in Innenräumen nicht akzeptabel und bei mehr als 50 KBE/m³ Luft pro Einzelspezies muss eine Abklärung der Innenraumemissionsquelle erfolgen. MILLER et al., 1988 und MELDRUM, 1993 (zit. nach RICHARDSON, 1998) fordern ebenfalls eine Abklärung der Innenraumquelle bei mehr als 50 KBE/m³ Luft pro Einzelspezies.

Die gefundenen Schimmelpilze in den Innenräumen können bei disponierten Patienten eine Allergie auslösen, Ursache für eine Infektion sein (vor allem *Aspergillus fumigatus*) und Mykotoxine bilden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrzahl der Bewohner von feuchten Wohnungen Gesundheitsstörungen und Erkrankungen angeben wie sie für Schimmelpilzexposition typisch ist. Das ist bei Bewohnern von trockenen Wohnungen nicht der Fall. Der negative Einfluss von Schimmelpilzen auf die Gesundheit wurde schon in vielen Studien beschrieben (SAGUNSKI, 1997a; OSTROWSKI, 1999; BORNEHAG et al., 2001; MORISKE, 2001).

Auffallend ist, dass vor allem Kinder zwischen null und zehn Jahren und junge Erwachsene zwischen zwanzig und dreißig Jahren von Gesundheitsproblemen betroffen sind, die sich meistens als allergische Symptome äußern, wie z. B. Schnupfen, Bindehautentzündung, Bronchialasthma und Husten, also vorrangig die Schleimhäute betreffen. KING und AUGER (2002) führten eine Literaturrecherche durch und fanden in fast allen Studien einen starken Zusammenhang zwischen respiratorischen Problemen (vor allem Asthma) und dem Vorhandensein von Schimmelpilzen und Feuchtigkeit.

Als hoch signifikant hat sich erwiesen, dass je mehr Räume mit Schimmel befallen sind, um so häufiger die Bewohner an trockener Haut bzw. Jucken, Stechen oder Brennen der Haut leiden (s. Tabelle 44). Signifikant bzw. trendwertig signifikant ist der Zusammenhang zwischen der Größe der befallenen Fläche bzw. Anzahl der befallenen Räume und der Anzahl der allergischen Symptome der Bewohner. Je mehr befallene Räume vorhanden sind, desto größer ist auch die Anzahl der akuten Infekte der oberen Luftwege der Bewohner.

Korrelation verschiedener Variablen GESUNDHEIT	hoch signifikant ($\alpha < 0,01$)	signifikant ($0,01 < \alpha < 0,05$)	trendwertig signifikant ($0,05 < \alpha < 0,1$)
Anzahl feuchter Räume und trockene Haut	X (0,0051)		
Anzahl feuchter Räume und Anzahl der allergischen Symptome			X (0,075)
Anzahl feuchter Räume und Anzahl der akuten Infekte im letzten halbem Jahr			X (0,095)
Fläche des Befalls und Anzahl der allergischen Symptome		X (0,027)	

Tab. 44: Signifikante Korrelationen bezüglich Gesundheit und Anzahl der feuchten Räume bzw. Fläche des Schimmelpilzbefalls

Einschränkend ist jedoch zu sagen, dass die angegebene klinische Symptomatik nicht durch ärztliche Untersuchungen verifiziert wurde.

Aus bauhygienischer Sicht hat auf die Anzahl feuchter Räume eine fensterlose Küche einen trendwertig signifikanten Einfluss (s. Tabelle 45).

Die Größe des Schimmelpilzbefalls ist nach unseren Untersuchungen in älteren Gebäuden (5 bzw. 8 Jahre) signifikant häufiger. Trendwertig signifikante Korrelationen sind: Wohnung befindet sich in einem Reihenhauses bzw. in einer dicht bebauten Siedlung und Ziegelbau vor 1970, Plattenbau vor 1970 bzw. Fachwerkbau (s. Tabelle 45).

Korrelation verschiedener Variablen BAUHYGIENE	hoch signifikant ($\alpha < 0,01$)	signifikant ($0,01 < \alpha < 0,05$)	trendwertig signifikant ($0,05 < \alpha < 0,1$)
Anzahl feuchter Räume und fensterlose Küche			X (0,075)
Fläche des Befalls und Alter des Hauses		X (0,019 bzw. 0,044)	
Fläche des Befalls und Lage des Gebäudes zu anderen			X (0,058)
Fläche des Befalls und Bausubstanz des Hauses			X (0,064 bzw. 0,094)

Tab. 45: Signifikante Korrelationen bezüglich Bauhygiene und Anzahl der feuchten Räume bzw. Fläche des Schimmelpilzbefalls

Aus wohnungshygienischer Sicht haben auf das Vorhandensein von Räumen mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall folgende Faktoren hochsignifikanten bzw. signifikanten Einfluss: erniedrigte Raumtemperatur im am meisten mit Schimmel betroffenen Raum (20°C) und

gesamte Wohnung zu kalt temperiert (nach Aussagen der Bewohner) (s. Tabelle 46). Wenn die Raumtemperatur z. B. durch zu geringes Heizen und/oder Nichtbeheizen einzelner Räume zu niedrig ist, steigt die relative Raumlufffeuchte an, welche bei ständig hohen Werten einen Schimmelbefall verursachen kann (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998; EICKE-HENNIG, 2000). Für das Heizen sollten folgende Richtwerte gelten: Wohnräume 20°C – 24°C, Schlafräume 16°C – 18°C. SCHRODT (1997) empfiehlt deswegen eine regelmäßige Kontrolle der Raumlufftemperatur und der relativen Raumlufffeuchte.

Trendwertig signifikanten Einfluss auf die Anzahl der feuchten Räume haben folgende Faktoren: Trocknen von Wäsche in der Wohnung, größere Personenzahl in der Wohnung (drei Bewohner), häufiges Duschen und Baden (zwölf mal pro Woche), die Notwendigkeit des Verrückens bzw. Verstellen von Pflanzen zum Fensteröffnen und Vorhandensein von Plastik- oder Thermotapete oder keiner Tapete (s. Tabelle 46).

Korrelation verschiedener Variablen WOHNVERHALTEN	hoch signifikant ($\alpha < 0,01$)	signifikant ($0,01 < \alpha < 0,05$)	trendwertig signifikant ($0,05 < \alpha < 0,1$)
Anzahl feuchter Räume und Temperatur des stärksten befallenen Raumes in der Heizperiode	X (0,00007)		
Anzahl feuchter Räume und Temperiertheit der Wohnung	X (0,0061)		
Anzahl feuchter Räume und Wäsche trocknen in der Wohnung			X (0,063)
Anzahl feuchter Räume und Personenzahl in der Wohnung			X (0,077)
Anzahl feuchter Räume und Anzahl der Bade- und Duschkabine			X (0,077)
Anzahl feuchter Räume und Pflanzen verstellen zum Fenster öffnen			X (0,097)
Anzahl feuchter Räume und Art der Tapete			X (0,099)
Fläche des Befalls und Art der Tapete	X (0,0063)	X (0,035 bzw. 0,040)	
Fläche des Befalls und Wäsche waschen in der Küche			X (0,070)
Fläche des Befalls und Wohnung zeitweise unbeheizt			X (0,086)

Tab. 46: Signifikante Korrelationen bezüglich Wohnverhalten und Anzahl der feuchten Räume bzw. Fläche des Schimmelpilzbefalls

Die Größe des Schimmelpilzbefalls korreliert hoch signifikant bzw. signifikant mit dem Vorhandensein von Plastik- oder Thermotapete bzw. einer nicht sorptionsfähigen Wandoberfläche. Trendwertig signifikanten Einfluss haben nachfolgende Faktoren: häufiges Wäsche waschen in der Küche und zeitweises Nichtbeheizen der Wohnung in der Übergangszeit bzw. im Winter (s. Tabelle 46). Wenn die Wohnung in der kälteren Jahreszeit nicht oder nur zeitweise beheizt wird, kühlen die Außenwände stark aus und fördern so die Kondenswasserbildung.

In einem Vier-Personen-Haushalt werden täglich ungefähr 14 kg Wasser produziert durch Atmung und Transpiration sowie durch Waschen, Duschen, Baden, Kochen, Abwaschen, Wischen, Wäsche trocknen u. a. Damit steigt mit der Anzahl der Bewohner auch die Feuchtigkeitsproduktion, welche ein Schimmelpilzwachstum ermöglicht. Um die so entstandene Feuchtigkeit hinreichend abzuleiten, sollte die Innenraumluft mindestens ein halb bis einmal pro Stunde durch Frischluftzufuhr erneuert werden, d. h. die Luftwechselzahl sollte in jedem Raum 0,5 bis 1,0 betragen. Dabei ist auch auf eine richtige Lüftung zu achten (EICKE-HENNIG, 2000). Wenn sich in einem Raum mit gelegentlich hoher Luftfeuchte (z. B. Küche) kein Fenster befindet, kann die Luftfeuchtigkeit nur unzureichend nach außen abgeführt werden, insbesondere da Zwangsentlüftungsanlagen häufig nicht genügend arbeiten. Weiterhin ist ein großer Pflanzenbestand zu vermeiden (SENKPIEL et al., 1999). Diese produzieren zusätzliche Feuchtigkeit und da sie oft auf einer Fensterbank stehen, müssen sie zur Öffnung der Fenster verstellt werden. Deswegen erfolgt die überwiegende Lüftung in Kippstellung der Fenster. Hier kann es aber leicht zur Oberflächentauwasserbildung an auskühlenden fensternahen Flächen kommen (SCHRODT, 1997; SENKPIEL, 1997; KELLER et al., 1998). Plastik- oder Thermotapeten sowie nicht diffusionsfähige Wandoberflächen haben einen signifikanten Einfluss auf Größe bzw. Fläche des Schimmelpilzbefalls (s. Tabelle 46). Auf diesen Oberflächen kann sich leichter Kondenswasser bilden als auf sorptionsfähigen Unterlagen. Thermotapeten strahlen zudem die Wärme in den Raum zurück. Hierdurch kühlt die dahinter liegende Wand ab und es kann zu Taupunktunterschreitungen kommen. Eine Kondenswasserbildung durch Taupunktunterschreitung muss unbedingt vermieden werden. Deshalb sind bei der Wandgestaltung Raufaser- und Papiertapeten gegenüber den Plastik- oder Thermotapeten oder nicht sorptionsfähigen Wandoberflächen vorzuziehen, da durch die zuerst genannten mehr Feuchtigkeit gespeichert und später wieder abgegeben werden kann.

Auffällig ist, dass in fast jeder Wohnung (befallen und unbefallen) nach Juli 1990 besser wärmedämmende Fenster eingebaut und damit der Luftwechsel behindert sowie in einzelnen feuchten Wohnungen die Fenster nachträglich noch abgedichtet wurden. Daraufhin traten in zwei Drittel der derzeit befallenen Wohnungen erstmalig (46,5%) oder vermehrt (18,6%) Feuchtigkeit und Schimmelbefall auf. Aufgrund des Einbaus von dichten Fenstern führen Lüftungs-, Beheizungs- und Ausstattungsfehler sowie bauliche Mängel (z. B. ungenügendes Austrocknen des Rohbaus, Wärmebrücken) eher zu einem ungünstigen feuchten Raumklima als bei besserer natürlicher Lüftung (SCHRODT, 1997; SENKPIEL et al., 1999). Die Senkung der Luftwechselrate durch die neuen dichten Fenstern auf weniger als 0,5 pro Stunde führt außerdem zu einer ansteigenden Belastung des Innenraumes mit gesundheitsschädlichen Substanzen (KELLER et al., 1998).

Weiterhin ist in befallenen Wohnungen die Außenwandfläche größer und die Fensterfläche kleiner als in unbefallenen Wohnungen. Außenwände kühlen abhängig von Witterung und der Wärmedämmung leichter aus als Innenwände und somit kommt es an diesen Wänden eher zur Kondenswasserbildung. Über kleinere Fenster wird die Luft langsamer ausgetauscht als über größere Fenster, deswegen besteht bei unzureichender Lüftung besonders bei hoher Raumluftfeuchtigkeit ebenfalls die Gefahr der Kondenswasserbildung.

Moshammer und Mitarbeiter (MOSHAMMER, 2000) haben unter standardisierten Bedingungen die optische Beurteilung der Schimmelpilzbelastung mit der Bestimmung vermehrungsfähiger Pilzsporen verglichen. Die Klassifizierung des sichtbaren Schimmelbefalls (unauffällig, gering, deutlich, massiv) korrelierte signifikant mit dem Quotient der Pilzsporenkonzentration der Innenluft gegenüber der Außenluft.

In unserer Studie fanden sich signifikante bzw. trendwertig signifikante Korrelationen zwischen der Sporenzahl in der Luft im Bad/WC bzw. im Kinderzimmer und der subjektiven Einschätzung der Schwere des Befalls (s. Tabelle 47).

Korrelation verschiedener Variablen	hoch signifikant ($\alpha < 0,01$)	signifikant ($0,01 < \alpha < 0,05$)	trendwertig signifikant ($0,05 < \alpha < 0,1$)
MIKROBIOLOGIE			
Sporenzahl der Luft im Bad/WC und Schwere des Befalls		X (0,034)	X (0,050)
Sporenzahl der Luft im Kinderzimmer und Schwere des Befalls			X (0,052)

Tab. 47: Signifikante Korrelationen bezüglich Sporenzahl und Schwere des Befalls

In den anderen Räumen konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der subjektiven Einschätzung der Befallsstärke bei der Inspektion und der mikrobiologischen Untersuchung befallener Stellen nachgewiesen werden.

Der klimatische Parameter „Lufttemperatur“ unterscheidet sich nicht zwischen feuchten und Vergleichswohnungen (s. Tabelle 48). Es gibt aber einen signifikanten Unterschied zwischen befallenen und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen ($\hat{\alpha}=0,007$ [s. Tabelle 49]). In unbefallenen Zimmern ist es durchschnittlich $0,3^{\circ}\text{C}$ wärmer als in befallenen Zimmern. Kältere Luft kann weniger Feuchtigkeit aufnehmen und erwärmt die Wände ungenügend, so dass Kondenswasserbildung und Durchfeuchtung der Außenwände in den betreffenden Räumen auftreten können. Feuchte Wände leiten die Wärme auch leichter nach außen und lassen die Wände abkühlen. So beträgt die Wandtemperatur an denen mit Schimmel befallenen Stellen der Wohnungen durchschnittlich $14,9^{\circ}\text{C}$ und an den unbefallenen Flächen $17,0^{\circ}\text{C}$.

Klimatischer Parameter	Außenluft	Befallene Zimmer/ feuchte Wohnung	Unbefallene Zimmer/ feuchte Wohnung	Vergleichswohnung
Lufttemperatur in $^{\circ}\text{C}$	8,6	21,0	21,3	21,0
Relative Luftfeuchte in %	56,6	50,6	48,2	46,9

Tab. 48: Klimatische Parameter (Mittelwerte) von der Außenluft, feuchten und Vergleichswohnungen

Signifikanz (zweiseitig) $\hat{\alpha}$	Lufttemperatur	relative Luftfeuchte
befallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,59	0,13
unbefallene Zimmer/ Vergleichswohnung	0,57	0,96
befallene/ unbefallene Zimmer	0,007	0,000

Tab. 49: Signifikanzen hinsichtlich der klimatischen Parameter in feuchten und Vergleichswohnungen

Die relative Luftfeuchte ist in befallenen Zimmern feuchter Wohnungen am höchsten und in den Vergleichswohnungen am niedrigsten. Hier liegt eine signifikante Korrelation zwischen befallenen und unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen ($\hat{\alpha}=0,000$) und eine fast trendwertige Korrelation zwischen befallenen Zimmern feuchter Wohnungen und Vergleichswohnungen ($\hat{\alpha}=0,13$) vor. Wände, die durch Kondensation oder von außen

eindringende Nässe feucht sind, geben auch mehr Feuchtigkeit in die Innenraumluft ab. Warme Nebenräume können mehr Feuchtigkeit durch die höhere Lufttemperatur aufnehmen. Wenn diese Luft durch eine offene Tür in den kälteren Raum gelangt, wird sich diese höhere Feuchtigkeit zusätzlich an der kalten Wand niederschlagen und o. g. Effekt verstärken. Feuchtigkeit bzw. erhöhte Luftfeuchte ist der Hauptwachstumsfaktor für Schimmelpilze. Das Wohnverhalten kann so einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, ob Wohnungen feucht werden und sich damit Schimmelpilzbefall entwickelt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass häufig das Zusammenspiel mehrerer Faktoren einen Befall mit Schimmelpilzen in Innenräumen bedingt.

Folgende Ursachen für Feuchtigkeit und Schimmelbefall wurden in den untersuchten Wohnungen gefunden:

Einflussfaktoren für Schimmelpilzbefall aus bauhygienischer Sicht:

- Wohnungen mit großen insbesondere ungenügend wärmedämmten Außenwandflächen (z. B. Giebelwohnungen) und kleinen Fensterflächen sowie Küchen ohne Fenster.
- Einbau wärmedämmender Fenster ohne Gewährleistung der ausreichenden Belüftung.
- Eindringen von Wasser aufgrund von Schäden am Wasserleitungssystem oder defekter Regenrinne/ Dach.
- Das Haus ist älter als 5 Jahre.
- Wärmebrücken durch ungenügende Wärmedämmung.

Einflussfaktoren für Schimmelpilzbefall aus wohnhygienischer Sicht:

- Übermäßige Feuchtigkeitsproduktion aufgrund von Überbelegung einer Wohnung, gehäuften Dusch- und Badevorgängen und Trocknen der Wäsche in der Wohnung.
- Eine Raumtemperatur von unter 20°C in der gesamten Wohnung.
- Die Wohnung ist zeitweise unbeheizt in der kalten Jahreszeit.
- Der Luftaustausch in der Wohnung findet zu wenig oder falsch (z. B. durch Kippstellung der Fenster) statt, auch deswegen, weil oft Pflanzen auf den Fensterbänken stehen.
- Die Wandoberflächengestaltung ist vor allem an Außenwänden zu dicht, z. B. stehen Schrankwände z. T. direkt an einer Außenwand.
- Die Luftzirkulation der Heizung wird z. B. durch überstehende Fensterbänke, Gardinen oder Möbel behindert.
- Wandgestaltung mit Plastik- oder Thermotapete oder keiner Tapete.

Wichtige prophylaktische Maßnahmen zur Vorbeugung von Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall können nach den Ergebnissen unserer Untersuchungen sowie der Angaben in der Literatur aus bauhygienischer Sicht sein:

- Vermeiden von Wärmebrücken (geometrisch, material-, massestrombedingt)
- Kein Einbau wärmedämmender Fenster ohne Sicherung einer ausreichenden Belüftung (baulich, organisatorisch)
- Kein Wohnungsbau mit fensterlosen Küchen
- Wohnungsbau mit möglichst geringer oder sehr gut wärmegeprägter Außenwandfläche und großer Fensterfläche
- Sofortige Behebung von Schäden am Wasserleitungssystem sowie an Regenrinne und Dach
- Sanierung älterer Häuser.

Für das Wohnverhalten ergeben sich folgende Forderungen:

- Vermeiden der Überbelegung von Wohnräumen
- Trocknen nur von kleinen Wäschestücken in der Wohnung
- Nach großer Feuchtigkeitsentwicklung (z. B. Duschen, Baden) ausreichend lüften
- Kein Stellen von Pflanzen auf die Bänke für die Lüftung wichtiger Fenster
- Luftaustausch nur mit weit geöffneten Fenster für wenige Minuten mehrmals am Tag
- Keine Anwendung von Plastik- oder Thermotapete an Außenwänden der Wohnungen
- Absenken der Temperatur der Wohnräume in der kalten Jahreszeit nicht unter 20°C
- Beheizen auch nicht genutzter Räume
- Kein direktes Stellen von Schränken an die Außenwände (mindestens 5 cm Abstand).

So kann durch gute bauhygienische Gestaltung und ein günstiges Wohnverhalten Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall vermieden und Gesundheitsgefahren vorgebeugt werden. Die Aufklärung der Bevölkerung hinsichtlich richtigen bzw. falschen Wohnverhaltens bildet dabei einen wichtigen Bestandteil.

Die in dieser explorativen Studie gefundenen Einflussfaktoren auf Feuchtigkeit und Schimmelbefall können Ausgangspunkt weiterer detaillierter Untersuchungen sein.

6. Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist eine Zunahme von feuchte- und schimmelpilzbelasteten Wohnungen in Deutschland festzustellen. Schimmelpilze können Sporen, Myzelbestandteile, Toxine und flüchtige organische Verbindungen (MVOC) an die Raumluft abgeben und geruchsbelästigend, schleimhautreizend, allergisierend, infektiös und toxisch wirken (SAMSON et al., 1994; SAGUNSKI, 1997a; MORISKE, 2001).

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Allgemeine, Krankenhaus- und Umwelthygiene führten wir in Jena und Umgebung von 1998 bis 2000 (ausschließlich der Sommermonate) eine umfangreiche Untersuchung über Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall in Innenräumen durch. Das Ziel der Arbeit war es, unter den aktuellen Bedingungen im Raum Jena, Ursachen und begünstigende Faktoren von Schimmelbefall in Wohnungen und deren gesundheitliche Auswirkungen zu ermitteln und Vorschläge zur Verbesserung der Situation in dieser Hinsicht zu machen. Weiterhin sollten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, welche Schimmelpilzsporenkonzentrationen in der Luft von Wohnungen mit sichtbarem Schimmelbefall auftreten.

Ausgehend von umfangreichen Literaturstudien konnte ein standardisiertes Frageprogramm erarbeitet und angewendet werden, welches Aspekte der Wohnumwelt, Bauphysik und Gesundheitsstörungen der Bewohner umfasste. Außerdem wurden quantitative und qualitative Messungen der Schimmelpilzsporen in der Luft und an Oberflächen sowie raumklimatische Messungen durchgeführt.

Die Untersuchung fand in 55 feuchten und 20 trockenen Vergleichswohnungen statt. Die feuchten Wohnungen wurden getrennt nach befallenen und unbefallenen Räumen untersucht.

Die durchschnittliche Schimmelpilzsporenkonzentration in der Luft lag in den befallenen Zimmern feuchter Wohnungen mit durchschnittlich 2.461 KBE/m³ Luft am höchsten und war drei mal höher als die in der Außenluft (784 KBE/m³ Luft), während die durchschnittliche Konzentration in der Luft von unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen (672 KBE/m³ Luft) und von Vergleichswohnungen (504 KBE/m³ Luft) niedriger als die in der Außenluft war. Die Schimmelpilzgattungen *Aspergillus*, *Penicillium* und *Cladosporium* wurden am häufigsten nachgewiesen. *Penicillium* wurde drei mal so oft in befallenen Zimmern als in der Außenluft gefunden.

Zwei Drittel der Bewohner von feuchten Wohnungen aber kaum ein Bewohner von trockenen Wohnungen gaben Gesundheitsstörungen und Erkrankungen an, welche auf die Auswirkung von Schimmelpilzbefall zurückgeführt werden könnten. Die Gesundheitsprobleme äußerten sich z. T. als allergische Symptome, wie z. B. Schnupfen, Bindehautentzündung, Bronchialasthma und Husten. Ein signifikanter Zusammenhang bestand zwischen der Anzahl der Räume mit Schimmelpilzbefall und trockener Haut bzw. Jucken, Stechen oder Brennen der Haut und signifikant bzw. trendwertig signifikant war der Zusammenhang zwischen Größe der befallenen Fläche bzw. Anzahl der befallenen Räume und dem Ausmaß der subjektiv berichteten Allergieausprägung der Bewohner. Ebenso bestand ein trendwertig signifikanter Zusammenhang zwischen Anzahl der mit Schimmel befallenen Räume und Anzahl der akuten Infekte der Bewohner. Einschränkend ist jedoch zu bemerken, dass wir die angegebenen Gesundheitsstörungen und Erkrankungen nicht durch eine medizinische Untersuchung gesichert haben.

Auf das Vorhandensein von Räumen mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall wurden folgende hochsignifikante bzw. signifikante Einflussfaktoren gefunden: erniedrigte Raumtemperatur ($< 20^{\circ}\text{C}$) und gesamte Wohnung zu kalt temperiert. In befallenen Zimmern feuchter Wohnungen ist zum einen die gemessene Lufttemperatur niedriger als in den unbefallenen Zimmern feuchter Wohnungen und zum anderen die Raumlufffeuchte höher als in den Vergleichswohnungen. Als trendwertig signifikante Einflussfaktoren ergaben sich: fensterlose Küche, Trocknen von Wäsche in der Wohnung, größere Personenzahl in der Wohnung (drei Bewohner), häufiges Duschen und Baden (zwölf mal pro Woche), Vorhandensein von Plastik- oder Thermotapete oder nicht sorptionsfähigen Oberflächen sowie das erschwerte Lüften durch Stellen von vielen Pflanzen auf das Fensterbrett.

Mit der Größe bzw. Fläche des Schimmelpilzbefalls korrelierten folgende Faktoren mit hoch signifikantem bzw. signifikantem Einfluss: Vorhandensein von Plastik- oder Thermotapete oder nicht sorptionsfähiger Oberfläche sowie ältere Gebäude. Trendwertig signifikante Einflussfaktoren waren: Wohnung befindet sich in einem Reihenhaus bzw. in einer dicht bebauten Siedlung, Ziegelbau vor 1970, Plattenbau vor 1970 bzw. Fachwerkbau, häufiges Wäsche waschen in der Küche und zeitweises Nichtbeheizen der Wohnung in der Übergangszeit bzw. im Winter.

Nach Juli 1990 wurden in allen Wohnungen besser wärmedämmende Fenster eingebaut und in einzelnen feuchten Wohnungen die Fenster nachträglich noch abgedichtet. Daraufhin traten

in zwei Drittel der derzeit befallenen Wohnungen erstmalig oder vermehrt Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall auf. Weiterhin ist in befallenen Wohnungen die Außenwandfläche größer und die Fensterfläche kleiner als in unbefallenen Wohnungen.

Diese aus der Vielzahl der in der Literatur diskutierten Einflussfaktoren auf Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall ermittelten relevanten Variablen können Ausgangspunkt weiterer detaillierter Untersuchungen sein.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

Wichtige prophylaktische Maßnahmen zur Vorbeugung von Feuchtigkeit und Schimmelpilz-
befall in Wohnräumen können nach den Ergebnissen unserer Untersuchungen aus
bauhygienischer Sicht sein: ausreichende Wärmedämmung insbesondere großer Außenwand-
flächen, Vermeiden von Wärmebrücken, kein Einbau wärmedämmender Fenster ohne
Sicherung einer ausreichenden Belüftung, kein Wohnungsbau mit fensterlosen Küchen sowie
zügige Wiederherstellung sanierungsbedürftiger Häuser.

Für das Wohnverhalten ergeben sich folgende Forderungen: Vermeiden der Überbelegung
von Wohnräumen, Trocknen nur von kleinen Wäschestücken in der Wohnung, ausreichend
und richtig lüften (Stosslüftung), kein Stellen von viel Pflanzen auf die Fensterbänke, keine
Verwendung von Plastik- oder Thermotapete, Vermeiden von nicht sorptionsfähigen
Wandoberflächen, Temperierung der Wohnräume in der kalten Jahreszeit nicht unter 20°C,
Beheizen auch nicht genutzter Räume sowie kein dichtes Stellen (5 cm) von Schränken an
die Außenwände.

Die signifikant häufigeren Gesundheitsstörungen und Erkrankungen bei den Bewohnern der
mit Schimmel befallenen Räume sind ein wichtiges Argument für eine schnellstmögliche
Sanierung der Wohnungen bzw. für die Notwendigkeit einer Änderung des Wohnverhaltens.
Hier gilt es sehr viel mehr Aufklärungsarbeit als bisher zu leisten. Die vorliegende
Untersuchung zeigt, wo die Schwerpunkte der Prophylaxe und Bekämpfung von
Schimmelpilzbefall in Wohnräumen in dieser Hinsicht liegen sollten.

Die Ergebnisse dieser Studie können Ausgangspunkt weiterer detaillierter Untersuchungen
zur Bau- und Wohnungshygiene sein.

7. Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

7.1. Abbildungen

Abb. 1	Häufigkeitsverteilung der Landkreisnummern nach Postleitzahl (PLZ)	S.34
Abb. 2	Personenzahl mit Gesundheitsstörungen	S.36
Abb. 3	Durchschnittliche Sporenanzahl in der Luft in KBE/m ³	S.39
Abb. 4	Vergleich der Sporenzahl (Mittelwerte) von den häufigsten Pilzgattungen in der Luft in KBE/m ³	S.41
Abb. 5	Klimatische Parameter (Mittelwerte) von der Außenluft, feuchten und Vergleichswohnungen	S.42
Abb. 6	Lufttemperatur in °C (Mittelwerte) von verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen	S.43
Abb. 7	Relative Luftfeuchte in % (Mittelwerte) von verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen	S.44
Abb. 8	Wandtemperatur, unbefallene Stelle in °C (Mittelwerte) von verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen	S.45
Abb. 9	Ausgangspunkt der Untersuchung	S.56
Abb. 10	Zufriedenheit mit der Wohnung	S.56
Abb. 11	Personenanzahl in der Wohnung	S.57
Abb. 12	Belegungsquotient der Wohnungen	S.58
Abb. 13	Größe der Außenwandfläche in m ²	S.59
Abb. 14	Fensterfläche in m ²	S.59
Abb. 15:	Befallene Wohnräume	S.60
Abb. 16:	Befallene andere Räume	S.60
Abb. 17:	Feuchtigkeitsursachen nach Aussage der Bewohner	S.61
Abb. 18:	Baumängel als Ursache nach Aussage der Bewohner	S.62
Abb. 19:	Ungünstiges Wohnverhalten als (Mit)Ursache nach Aussage der Bewohner	S.62
Abb. 20:	Bevorzugte Wohnraumtemperatur im Winter	S.66
Abb. 21:	Temperiertheit der Wohnung	S.66
Abb. 22:	Temperaturabsenkung des am meisten mit Schimmelpilzen befallenen Raumes in der kalten Jahreszeit	S.67

Abb. 23:	Temperatur des am meisten mit Schimmelpilzen befallenen Raumes in der Heizperiode	S.67
Abb. 24:	Anzahl Bade- und Duschvorgänge pro Woche	S.68
Abb. 25:	Alter der Bewohner mit gesundheitlichen Beschwerden	S.78
Abb. 26:	Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bewohner	S.79
Abb. 27:	Anzahl der akuten Infekte der oberen Luftwege im letzten halben Jahr	S.79

7.2. Tabellen

Tab. 1:	Einteilung der Schimmelpilze in Feuchtebereiche	S. 9
Tab. 2:	Vor- und Nachteile der Luftkeimsammlung	S.13
Tab. 3:	Gegenüberstellung von Kultivierung und Mikroskopie	S.15
Tab. 4:	Abgeleitete Orientierungswerte bei vorhandener Schimmelpilzexposition in der Raumluft und Klagen der Bewohner über gesundheitliche Beeinträchtigungen	S.19
Tab. 5:	Mykotoxine und ihre Effekte	S.26
Tab. 6:	Signifikanzen hinsichtlich der durchschnittlichen Sporenzahlen in den verschiedenen Zimmern der feuchten und Vergleichswohnungen	S.39
Tab. 7:	Signifikanzen hinsichtlich der klimatischen Parameter in feuchten und Vergleichswohnungen	S.42
Tab. 8:	Signifikanzen hinsichtlich Lufttemperatur in verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen	S.43
Tab. 9:	Signifikanzen hinsichtlich relativer Luftfeuchtigkeit in verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen	S.44
Tab. 10:	Signifikanzen hinsichtlich Wandtemperatur, unbefallene Stelle in verschiedenen Zimmern von feuchten und Vergleichswohnungen	S.45
Tab. 11:	Sporenanzahl (Mittelwert) in der Luft verschiedener befallener Räume von feuchten Wohnungen in KBE/m ³	S.47
Tab. 12:	Sporenzahl von Pilzgattungen in der Luft (Mittelwert) verschiedener befallener Räume von feuchten Wohnungen in KBE/m ³	S.48
Tab. 13:	Klimatische Parameter (Mittelwerte) in befallenen Zimmern von feuchten Wohnungen	S.49
Tab. 14:	Sporenanzahl (Mittelwert) in der Luft verschiedener unbefallener Räume von feuchten Wohnungen in KBE/m ³	S.50

Tab. 15:	Sporenzahl von Pilzgattungen in der Luft (Mittelwert) unbefallener Räume von befallenen Wohnungen in KBE/m ³	S.51
Tab. 16:	Klimatische Parameter (Mittelwerte) in unbefallenen Zimmern von feuchten Wohnungen	S.52
Tab. 17:	Sporenanzahl (Mittelwert) der Luft verschiedener Räume von Vergleichswohnungen in KBE/m ³	S.53
Tab. 18:	Sporenzahl (Mittelwert) von Pilzgattungen in der Luft verschiedener Räume von Vergleichswohnungen in KBE/m ³	S.54
Tab. 19:	Klimatische Parameter (Mittelwerte) in verschiedenen Räumen von Vergleichswohnungen	S.55
Tab. 20:	Zahl der befallenen Räume und fensterlose Küche	S.63
Tab. 21:	Quadratmeter des Schimmelbefalls und Alter des Hauses	S.64
Tab. 22:	Quadratmeter des Schimmelbefalls und Lage des Gebäudes zu anderen	S.65
Tab. 23:	Quadratmeter des Schimmelbefalls und Bausubstanz des Hauses	S.65
Tab. 24:	Zahl der befallenen Räume und Temperatur des am meisten mit Schimmel befallenen Raumes in der Heizperiode	S.70
Tab. 25:	Zahl der befallenen Räume und Temperiertheit der Wohnung	S.70
Tab. 26:	Zahl der befallenen Räume und Wäsche trocknen in der Wohnung	S.71
Tab. 27:	Zahl der befallenen Räume und Personenzahl in der Wohnung	S.71
Tab. 28:	Zahl der befallenen Räume und Anzahl der Bade- und Duschvorgänge	S.72
Tab. 29:	Zahl der befallenen Räume und Pflanzen rücken zum Fenster öffnen	S.72
Tab. 30:	Zahl der befallenen Räume und Art der Tapete	S.73
Tab. 31:	Quadratmeter des Schimmelbefalls und Art der Tapete (1)	S.74
Tab. 32:	Quadratmeter des Schimmelbefalls und Art der Tapete (2)	S.74
Tab. 33:	Quadratmeter des Schimmelbefalls und Wäsche waschen in der Küche	S.75
Tab. 34:	Quadratmeter des Schimmelbefalls und Wohnung zeitweise unbeheizt (kalte Jahreszeit)	S.75
Tab. 35:	Sporenzahl in der Luft im Bad/WC und Schwere des Befalls	S.77
Tab. 36:	Sporenzahl in der Luft im Kinderzimmer und Schwere des Befalls	S.77
Tab. 37:	Zahl der befallenen Räume und trockene Haut bzw. Jucken, Stechen oder Brennen der Haut	S.81
Tab. 38:	Zahl der befallenen Räume und Anzahl der allergischen Symptome	S.81
Tab. 39:	Zahl der befallenen Räume und Anzahl der akuten Infekte der oberen Luftwege im letzten halbem Jahr	S.82

Tab. 40:	Quadratmeter des Schimmelbefalls und Anzahl der allergischen Symptome	S.83
Tab. 41:	Schimmelpilzdifferenzen (KBE/m ³) zwischen Innenraumlufte und Außenluft (Durchschnittswerte), Vergleich feuchte Wohnungen/ befallene Zimmer, feuchte Wohnungen/ unbefallene Zimmer und Vergleichswohnungen	S.85
Tab. 42:	Signifikanzen hinsichtlich der Schimmelpilzdifferenzen (KBE/m ³) zwischen Innenraumlufte und Außenluft in den verschiedenen Zimmern der feuchten und Vergleichswohnungen	S.86
Tab. 43:	Vorkommende Schimmelpilzgattungen und ihre Häufigkeit in der Außenluft und in der Innenluft feuchter und Vergleichswohnungen (KBE/m ³)	S.87
Tab. 44:	Signifikante Korrelationen bezüglich Gesundheit und Anzahl der feuchten Räume bzw. Fläche des Schimmelpilzbefalls	S.89
Tab. 45:	Signifikante Korrelationen bezüglich Bauhygiene und Anzahl der feuchten Räume bzw. Fläche des Schimmelpilzbefalls	S.89
Tab. 46:	Signifikante Korrelationen bezüglich Wohnverhalten und Anzahl der feuchten Räume bzw. Fläche des Schimmelpilzbefalls	S.90
Tab. 47:	Signifikante Korrelationen bezüglich Sporenzahl und Schwere des Befalls	S.92
Tab. 48:	Klimatische Parameter (Mittelwerte) von der Außenluft, feuchten und Vergleichswohnungen	S.93
Tab. 49:	Signifikanzen hinsichtlich der klimatischen Parameter in feuchten und Vergleichswohnungen	S.93

8. Literaturverzeichnis

1. ANDERSSON MA, NIKULIN M, KÖLJALG U, ANDERSSON MC, RAINEY R, REIJULA K, HINTIKKA EL, SALKINOJA-SALONEN M (1997): Bacteria, molds and toxins in water-damaged building materials. *Applied and Environmental Microbiology* 63: 387-393
2. BERUFGENOSSENSCHAFTLICHES INSTITUT FÜR ARBEITSSICHERHEIT (1993), zit. n. RICHARDSON N (1998)
3. BÖCK R (2001): Sensorische Wirkungen von flüchtigen Metaboliten (MVOC) in verschimmelten Innenräumen. *Umweltmed Forsch Prax* 6: 137-143
4. BÖCK R, SCHLEIBINGER H, RÜDEN H (1998): Flüchtige sekundäre Metaboliten als Indikator für eine intramurale Schimmelpilzbelastung. *Umweltmed Forsch Prax* 3 (6): 359-364
5. BORNEHAG CG, BLOMQUIST G, GYNTELBERG F, JÄRVHOLM B, MALMBERG P, NORDVALL L, NIELSEN A, PERSHAGEN G, SUNDELL J (2001): Dampness in Buildings and Health. Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects (NORDDAMP). In: *Indoor Air 11*, Dänemark: 72-86
6. BRUNEKREEF B, DOCKERY DW, SPEIZER FE, WARE JH, SPENGLER JD, FERRIS BG (1989): Home dampness and respiratory morbidity in children. *Am Rev Respir Dis* 140 (5): 1363-1367
7. CASTEGNARO M AND WILD CP (1995): IARC Activities in Mycotoxin Research. *Natural Toxins* 3: 327-331
8. COOMBS RA AND GELL PH (1975): Classification of allergic reactions responsible for clinical hypersensitivity and disease. In: GELL PH et al. (eds): *Clinical aspects for immunology*. Blackwell Sc Pbl, Oxford: 761-782
9. CORRIER DE AND WAGNER GG (1988): Comparison of the effect of T-2 toxin with that of dexamethason or cyclophosphamide on resistance to babesia microti infection in mice. *Am J Vet Res* 49: 2000-2003
10. CREASIA DA, THURMAN JD, JONES III LJ, NEALLEY ML, YORK CG, WANNEMACHER JR RW, BUNNER DL (1987): Acute Inhalation toxicity of T-2 mycotoxin in mice. *Fundamental and Applied Toxicology* 8: 230-235
11. CROFT WA, JARVIS BB, YATAWARA CS (1986): Airborne outbreak of trichothecene toxicosis. *Atmospheric Environment* 20: 549-552
12. DGE – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG (1996): Schimmelpilze in und auf Lebensmitteln. DGE e. V. (Hrsg.), *Ernährungsbericht*: 131-141

13. DILLI (1998): Schimmelpilze in Innenräumen – Leistungsfähigkeit der Nachweismethoden. In: Gebäudestandard 2000: Energie & Raumluftqualität, Ergebnisse des 4. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 25. und 26.09.1998 in Nürnberg: 248-252
14. DI PAOLO N, GUARNIERI A, LOI E, SACCHI G, MANGIAROTTE AM, DI PAOLO M (1993): Acute renal failure from Inhalation of mycotoxins. *Nephron* 64: 621-625
15. EICKE-HENNIG W (2000): Wohnungslüftung, Feuchte und Schimmel in Wohnungen – ein neues Problem? *Gesundheits-Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik* 121 (2): 69-81
16. FIEDLER K UND HOYER H (1996): Logistische Regressionsanalysen zum Einfluss von Wohnumwelt, Wohnhygiene und Lebensweise auf die Häufigkeit und Dauer akuter respiratorischer Erkrankungen bei Kleinkindern. *Zbl Hyg* 198: 204-214
17. FIEDLER K UND SCHÜTZ E (1998): Nachweis flüchtiger organischer Verbindungen von Schimmelpilzen mittels HS-SPME-Technik. In: Feuchte- und Schimmelpilzbildung in Wohngebäuden durch Wärmebrücken. *Gesundheitliche Gefahren durch biogene Luftschadstoffe, Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck, Heft 2: 157-160*
18. FLANNIGAN B, MCCABE EM, MCGARY F (1991): Allergenic and toxigenic microorganisms in houses. *J Appl Bacteriol* 70 (Suppl): 61-73
19. FORSBERG B, PEKKANEN J, CLENCH-AAS J, MARTENSSON MB, STJERNBERG N, BARTONOVA A, TIMONEN KL, SKERFVING S (1997): Childhood asthma in four regions in Scandinavia: risk factors and avoidance effects. *Int J Epidemiol* 26 (3): 610-619
20. GRAVESEN S (1979): Fungi as a cause of allergie disease. *Allerg* 34: 135-154
21. GRAVESEN S, LARSEN L, GYNTELBERG F, SKOV P (1986): Demonstration of microorganisms and dust in schools and offices. An observational study of non-industrial buildings. *Allergy* 41 (7): 520-525
22. HENDRY KM AND COLE EC (1993): A review of mycotoxins in indoor air. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 38: 183-198
23. HERR C UND HARPEL S (2001): MVOC – ein relevantes gesundheitliches Problem für die Bevölkerung. *Umweltmed Forsch Prax* 6: 125-126
24. HOLMBERG K (1987): Indoor mould exposure and health effects. In: *Proceedings of Indoor Air 1987, Berlin Vol. 1: 637-642*
25. IRK (1995): Innenraumluftthygiene – Kommission des Umweltbundesamtes: *Biologische Innenraumluftverunreinigungen. Bundesgesundheitsblatt*, 38: 284-287

26. JOHANNING E (1998): Allergene und giftige Schimmelpilze in Innenräumen. Ökologisches Bauen und Sanieren, Ergebnisse des Kongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) und des Allergie-Vereins in Europa e.V. (AVE): 154-163
27. JOHANNING E, BIAGINI R, HULL D, MOREY P, LANDSBERGIS P (1996): Health and immunology study following exposure to toxigenic fungi (*Stachybotrys chartarum*) in a water-damaged office environment. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 68: 207-218
28. JOVANOVIĆ S, PIECHOTOWSKI I, GABRIO T, WEIDNER U, ZÖLLNER I, SCHWENK M (2001): Abschätzung der Schimmelpilzbelastung in Wohnungen in Südwestdeutschland. *Gesundheitswesen* 63: 404-411
29. KELLER R, SÖNNICHSEN R, OHGKE H (1998): Untersuchung der flüchtigen organischen Stoffwechselprodukte von ausgewählten Schimmelpilzen (*Penicillium expansum*, *Aspergillus versicolor*) mittels GC-MSD zur Erkennung von nicht sichtbarem Schimmelpilzbefall in Innenräumen. In: Ökologisches Bauen und Sanieren, Ergebnisse des Kongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) und des Allergie-Vereins in Europa e.V. (AVE): 181-191
30. KLOPFER H (1999): Feuchteschutz durch Feuchtemanagement – eine neue Strategie? *ARCONIS* 3: 26-27
31. KOCH A, BRASCHE S, HEILEMANN KJ, HEINRICH J, WICHMANN HE, BISCHOF W (2001): Einfluss von Gebäude-, Wohn- und Nutzungscharakteristika auf die Konzentration von Schimmelpilzsporen im Hausstaub von Wohnräumen. Abstract: *Gesundheitswesen* 63: 479
32. KOSKINEN O, HUSMAN T, HYVARINEN A, REPONON T, KUNSKONEN J, NEVALAINEN A (1994): Respiratory symptoms and infections in mouldy dwellings and day-care centres. In: SAMSON RA (Hrsg.), FLANNIGAN B, FLANNIGAN MEP, VERHOEFF AP, ADAN OCG, HOEKSTRA ES: *Health Implications of fungi in indoor environments. Air Quality Monographs Vol. 2*, Elsevier
33. KREJA L UND SEIDEL HJ (2001): Toxikologische Untersuchungen einiger nachgewiesener flüchtiger organischer Metabolite der Schimmelpilze (MVOC). *Umweltmed Forsch Prax* 6: 159-163
34. KREMPL-LAMPRECHT L (1985): Bedeutung saisonal auftretender Schimmelpilze als Allergene. *Allergologie* 8: 26-30
35. KURUP V, CHOI H, RESNICK A, KALBFLEISCH J, FINK J (1990): Immunopathological response of C57BL/6 and C3H/HeN mice to *Aspergillus fumigatus* antigens. *International Archives of Allergy and Applied Immunology* 91: 145-154
36. LAND CL, HULT K, FUCHS R, HAGELBERG S, LUNDSTRÖM H (1987): Tremorgenic mycotoxins from *Aspergillus fumigatus* as a possible occupational health problem in sawmills. *Applied and Environmental Microbiology* 53: 787-790

37. LAND CJ, RASK-ANDERSEN A, LUNDSTRÖM H, WERNER S, BARDAGE S (1994): Tremorgenic mycotoxins in conidia of *Aspergillus fumigatus*. In: SAMSON RA (Hrsg.), FLANNIGAN B, FLANNIGAN MEP, VERHOEFF AP, ADAN OCG, HOEKSTRA ES: Health implications of fungi in indoor environments. Air Quality Monographs Vol. 2, Elsevier: 307-315
38. LAPPALAINEN S, NIKULIN M, BERG S, PARIKKA P, HINTIKKA EL, PASANEN AL (1996): Fusarium toxins and fungi associated with handling of grain on eight Finnish farms. *Atmospheric Environment* 30: 3059-3065
39. LARSEN L (2000): Detection of moulds in the indoor environment. In: Mikrobielle Schadwirkungen auf Mensch und Material in Gebäuden. Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck, Heft 3: 11-19
40. LEBOWITZ MD (1992): Indoor bioaerosol contaminations. In: LIPPMANN, M (Hrsg.): Air Pollutants. New York, Elsevier
41. LEHMANN I, REHWAGEN M, DIEZ U, SEIFFART A, ROLLE-KAMPCZYK U, RICHTER M, WETZIG H, BORTE M, HERBARTH O (2001): Enhanced in vivo IgE production and T cell polarization toward the type 2 phenotype in association with indoor exposure to VOC: results of the LARS study. *Int J Hyg Environ Health*, 204 (4): 211-221
42. LEWIS CW, ANDERSON JG, SMITH JE, MORRIS GP, HUNT SM (1989): The incidence of moulds within 525 dwellings in the United Kingdom. *Int J Environ Stud* 35: 105-112
43. LI CS, HSU CW, TAI ML (1997): Indoor pollution and sick building syndrome symptoms among workers in day-care centers. *Arch Environ Health* 52 (3): 200-207
44. LORENZ W (2001): Dem Schimmel auf der Spur. *Zeitschrift für Umweltmedizin* 9. (2): 86-89
45. MACGEORGE KM AND MANTLE PG (1991): Nephrotoxic fungi in a Yugoslavian community in which Balkan nephropathy is hyperendemic. *Mycology Research* 95: 660-664
46. MACHER J M (2001): Review of methods to collect settled dust and isolate culturable microorganisms. In: *Indoor Air* 11 (2), Dänemark (2001): 99-110
47. MAES W (1999): Schimmelpilze, deren Sporen, Gifte und Gase. *Elektrosmog – Wohngifte – Pilze, Baubiologie – praktische Hilfe für jedermann*, Haug-Verlag: 267-271
48. MASSEY TE, STEWART RK, DANIEL JM, LIU L (1995): Biochemical and molecular aspects of mammalian susceptibility to aflatoxin B₁ carcinogenicity. *Proceedings of the Society of Experimental and Biological Medicine* 208: 213-227
49. MELDRUM JR (1993): Proceedings of 6th international conference on indoor air, zit. n. RICHARDSON N (1998)

-
50. MILLER JD, LAFLAMMBE AM, SOBOL Y, LAFONTAINE P (1988): Fungi and fungal products in some Canadian houses. *International Biodeterioration* 24: 103-120
 51. MONTANA E, ETZEL RA, ALLAN T, HORGAN TE, DEARBORN DG (1997): Environmental risk factors associated with pediatric idiopathic pulmonary hemorrhages and hemosiderosis in a Cleveland community. *Pediatrics* 99 (1 Suppl S): E51-E58
 52. MORISKE HJ (2001): Mikrobielle Verunreinigungen in Innenräumen. Zusammenfassung der Ergebnisse der 8. WaBoLu-Innenraumtage vom 21. bis 23. Mai 2001 im Umweltbundesamt. *Bundesgesundheitsbl. – Gesundheitsforsch. – Gesundheitsschutz* 44: 924-928
 53. MOSHAMMER H, HUTTER HP, NEUBERGER M (2000): Pilzsporenbelastung in Wohnräumen – Ortsaugenschein und Sporenmessung im Vergleich. *Umweltmed Forsch Prax* 5 (4): 227-232
 54. MÜCKE W UND LEMMEN C (1999): Schimmelpilze. Ecomed verlagsgesellschaft AG & Co KG, Landsberg
 55. MÜLLER A UND HERBARTH O (1999): Toxic effects of extracts from spores of moulds. *Umweltmed Forsch und Prax* 4: 225
 56. MÜLLER A, LEHMANN I, SEIFFART A, DIEZ U, WETZIG H, BORTE M, HERBARTH O (2002): Increased incidence of allergic sensitisation and respiratory diseases due to mould exposure: results of the Leipzig Allergy Risk children Study (LARS). *Int J Hyg Environ Health* 2002; 204 (5-6): 363-365
 57. MÜLLER-WENIG D (1990): Klinik der exogen-allergischen Alveolitis. *Allergologie* 13: 91-103
 58. NIKULIN M, PASANEN AL, BERG S, HINTIKKA EL (1994): *Stachybotrys atra* growth and toxin production in some building materials and fodder under different relative humidities. *Applied and Environmental Microbiology* 60: 3421-3434
 59. NIKULIN M, REIJULA K, JARVIS BB, HINTIKKA EL (1996b): Experimental lung mycotoxicosis in mice induced by *Stachybotrys atra*. *Internat J Exp Path* 77: 213-218
 60. NIKULIN M, HYVÄRINEN A, KOTIMAA M, PARIKKA P, HINTIKKA EL (1996a): *Stachybotrys* problem in indoor air in 70 Finnish houses. Presented at: Mycotoxin Workshop, 10. – 12. June, Kulmbach, Germany
 61. NORBACK D, BJORNSSON E, JANSON C, PALMGREN U, BOMAN G (1999): Current asthma and biochemical signs of inflammation in relation to building dampness in dwellings. *Int J Tuberc Lung Dis* 3 (5): 368-376

62. OHGKE H (1997): Gesundheitliche Bewertungsproblematik sowie Schutzmaßnahmen vor biogenen Belastungen im Innenraum. In: Biogene Luftschadstoffe in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck: 115-117
63. OHGKE H, GEERS A, BECKERT J (1987): Fungal load of indoor air in historical and newly constructed buildings used by public services. In . Proceedings of Indoor Air 1987 Vol. 1, Berlin: 681-684
64. OSTROWSKI R (1999): Exposure assessment of moulds in indoor environments in relation to chronic respiratory diseases. In: W. DOTT (Hrsg.): Akademische Edition Umweltforschung. Publikationsreihe des interdisziplinären Umweltforums der RWTH Aachen
65. PASANEN A (2001): A Review: Fungal Exposure Assessment in Indoor Environments. Indoor Air 11, Dänemark: 87-98
66. PITTEN FA (1999): Schimmelpilze im Innenraum. Umweltmed Forsch Prax 4 (5): 253-255
67. REPONEN T, NEVALAINEN A, JANTUNEN M, PELLIK M, KALLIOKOSKI P (1990): Proposal for an upper limit of the normal range of indoor air bacteria and fungal spores in subarctic climate. In: Proceedings of Indoor Air 1990 Vol. 5 (Toronto, Canada): 47-50
68. REYNOLDS SJ, STREIFEL AJ, MCJULTON CE (1990): Elevated airborne concentrations of fungi in residential and office environments. Am Ind Hyg Assoc J 51: 601-604
69. RICHARDSON N (1998): Schimmelpilze in Innenräumen – Bestandsaufnahme und Probenahme bei verstecktem Schimmel und neue Bewertungsansätze. In: Gebäudestandard 2000: Energie & Raumluftqualität, Ergebnisse des 4. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 25. und 26.09.1998 in Nürnberg: 253-259
70. RYLANDER R AND JACOBS RR (1994): Organic Dusts: Exposure, Effects and Prevention. CRC Press Inc., Boca Raton, USA
71. SAGUNSKI H (1997a): Mikrobielle flüchtige organische Verbindungen: Expositionsindikatoren bei Schimmelpilzbefall in Innenräumen? Umweltmed Forsch Prax 2 (2): 95-100
72. SAGUNSKI H (1997b): Biogene Verunreinigungen in der Innenraum- und Außenluft: Ansätze zur Risikoabschätzung am Beispiel Schimmelpilze. In: Biogene Luftschadstoffe in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck: 151-160

-
73. SAMSON RA (Hrsg.), FLANNIGAN B, FLANNIGAN ME, VERHOEFF AP, ADAN QCG, HOEKSTRA ES (1994): Health implications of fungi in indoor environments. Air Quality Monographs, Recommendations Vol. 2: 531-538
 74. SCHORRMÜLLER I (Hrsg.) (1967): Handbuch der Lebensmittelchemie. Springer Verlag Berlin, 2. Band
 75. SCHRODT J (1997): Baubiologische und bauphysikalische Aspekte zum Auftreten von Schimmelpilzen sowie Sanierungsmaßnahmen. In: Biogene Luftschadstoffe in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck: 11-83
 76. SCHRODT J (1998): Feuchte- und Schimmelpilzbildung in Wohngebäuden durch Wärmebrücken. In: Gesundheitliche Gefahren durch biogene Luftschadstoffe, Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck: 123-155
 77. SCOTT WJ (1957): Water relations of food spoilage microorganism. Adv Food Res 7: 83-127
 78. SENKPIEL K (1997): Biogene Belastung im Innenraum unter besonderer Berücksichtigung der Bestimmungsmethoden und der mikrobiellen Wachstumsfaktoren. In: Biogene Luftschadstoffe in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Medizinischen Universität zu Lübeck: 85-113
 79. SENKPIEL K (2001): Nachweis und Bewertung von mikrobiellen Belastungen in Gebäuden. Wohnmedizin 39: 3-7
 80. SENKPIEL K UND OHGKE H (1992): Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen, Festlegung eines Erfahrungsrichtwertes. Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 113: 42-45
 81. SENKPIEL K UND OHGKE H (2001): Wohnhygienische Bewertung der mikrobiellen Belastung in feuchten Gebäuden (III-4.4.4). Handbuch für Bioklima und Lufthygiene – 5. Erg. Lfg. 4: 1-23
 82. SENKPIEL K, OHGKE H, BECKERT J (1994): Kinetik der Auskeimung von Schimmelpilzsporen auf Baustoffen in Abhängigkeit von deren Gleichgewichts- (a_w), Material- (μ_m) und Oberflächenfeuchte. Ges. Ing. 115: 77-85
 83. SENKPIEL K, SOON A, OHGKE H (1996): Untersuchungen zur mikrobiziden Wirkung von ausgewählten kommerziell erhältlichen Antischimmelpilzpräparaten für den häuslichen Gebrauch. Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 117: 86-92

84. SENKPIEL K, SASSENBERG D, OHGKE H (1999): Die Bewertung von feuchte- und schimmelpilzbelasteten Innenräumen anhand von Orientierungswerten, Leitlinien, Empfehlungen. In: *Ökologisches Bauen. Energiesparend, emissionsarm und zukunftsfähig?! Ergebnisse des 5. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) vom 23. bis 25. September 1999 in Bremen:* 198-211
85. SENKPIEL K, KIENAST E, HERBST M; OHGKE H (1998): Bestimmung von luftgetragenen Mikroorganismen – Vergleich und Bewertung der Abscheideleistungen eines Schlitzimpaktors anhand des cut-off-(d₅₀)-Wertes. *Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft* 58: 473-478
86. SENKPIEL K, DRAAK L, SASSENBERG D, HÖPPNER L, KELLER R, OHGKE H (2000): Bestimmung des Mykotoxin-Gehaltes von Konidiosporen aus Wildstamm-Reinisolaten schimmelpilzbelasteter Wohnungen. *Ges.-Ing.* 121: 312-319
87. SIERK P (1997): Schimmelpilzbelastungen in Innenräumen. Fachtagung in Fulda, Mai 1997, zitiert nach Richardson, N. (1998)
88. SMEDJE G, NORBACK D, EDLING C (1997): Asthma among secondary schoolchildren in relation to the school environment. *Clin Exp Allergy* 27 (11): 1270-1278
89. SORENSON WG, FRAZER DG, JARVIS BB, SIMPSON J, ROBINSON VA (1987): Trichothecene mycotoxins in aerosolized conidia of *Stachybotrys atra*. *Applied and Environmental Microbiology* 53: 1370-1375
90. STAIB F (1992): Bioabfall aus medizinisch-mykologischer Sicht. *Bundesgesundhbl.*: 21-26
91. STIX E UND GROSSE-BRAUCKMANN G (1980): Der Sporengehalt der Luft und seine tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unter mitteleuropäischen Verhältnissen. *Flora B* 159: 1-37
92. STRÖM G, WEST J, WESSEN B, PALMGREN U (1994): Quantitative analysis of microbial volatiles in damp swedish houses. In: SAMSON RA (Hrsg.), FLANNIGAN B, FLANNIGAN MEP, VERHOEFF AP, ADAN OCG, HOEKSTRA ES: *Health implications of fungi in indoor environments. Air Quality Monographs Vol. 2*, Elsevier
93. THOMPSON MW, DONNELLY J, GRINSHUPUN SA, JUOZAITIS A, WILLEKE K (1994): Method and test system for evaluation of bioaerosol samplers. *J Aerosol Sci* 25: 1579-1591
94. TRAUTMANN C (2001): Messung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzbefall in Wohnräumen. Raumklimatische und hygienische Anforderungen für Wohlbefinden, gesundes Wohnen und Arbeiten, 264. IBK-Bau-Fachtagung am 22.02.2001 in Berlin
95. UENO Y (1983): *Trichothecenes: Chemical, Biological and Toxicological Aspects.* Kodansha Ltd., Tokyo, Japan (Developments in Food Science 4)

-
96. UMWELTBUNDESAMT (1998): Anfrage an da WaBoLu. Umweltmedizinischer Informationsdienst 3: 62-64
 97. WANNER HU, VERHOEFF A, COLOMBI A, FLANNIGAN B, GRAVESEN S, MOUILLESEAUX A, NEVALAINEN A, PAPADAKIS J, SEIDEL K (1993): Biological particles in indoor environments. European Collaborative Action, Indoor Air Quality and its Impact on Man (EUR 14988 EN) Report No. 12: 1-81
 98. WOODS JE, PETRISEK RE, GRANGER RH, WALLINGFORD KM, MARTINEZ KF (2000): Case-specific criteria for evaluating the scope and intensity of mould impaction and remediation effektivenes. Proceedings of Healthy Buildings 3, Espoo, Finland: 535-540
 99. WORLD HEALTH ORGANIZATION (1990a): Indoor air quality; Biological Contaminants. Report on a WHO meeting. Rautavaara, Finland 1988, World Health Organization, Regional Publications, European Series No. 31: 1-67
 100. WORLD HEALTH ORGANIZATION (1990b): Selected Mycotoxins: Ochratoxins, Trichothecenes, Ergot. Geneva, WHO International Programm on Chemical Safety (Environmental Health Criteria 105)
 101. WUTTKE C UND EICHHORN B (2001): Bedeutung der neuen Biostoffverordnung vom 1.4.99 für die Beseitigung von Schimmelpilzen bei Instandsetzung in bewohnten Räumen – Fallbeispiele. Raumklimatische und hygienische Anforderungen für Wohlbefinden und gesundes Wohnen und Arbeiten. 264. IBK-Bau-Fachtagung am 22.2.2001 in Berlin

9. Abkürzungsverzeichnis

a_w	Gleichgewichtsfeuchte
Abb.	Abbildung
BK	Berufskrankheit
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
d. h.	das heißt
FOV	Flüchtige organische Verbindungen
g	Gramm
ggf.	gegebenenfalls
h	Stunde
IgE	Immunglobulin E
IgG	Immunglobulin G
IgM	Immunglobulin M
KBE/m ³	Koloniebildende Einheiten pro Kubikmeter Luft
kg	Kilogramm
l	Liter
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MVOC	Microbial Volatile Organic Compounds
o. ä.	oder ähnliches
o. g.	oben genannt
p	Wasserdampfpartialdruck über dem Nährsubstrat bei gegebener Temperatur
P ₀	Sättigungsdampfdruck des reinen Wassers bei gegebener Temperatur
PLZ	Postleitzahl
r	Pearsonsche Korrelationskoeffizient
RGF	relative Gleichgewichtsfeuchtigkeit bei gegebener Temperatur

S.	Seite
s.	siehe
spp.	Spezies
Tab.	Tabelle
u. a.	und andere
z. B.	zum Beispiel
zit.	zitiert
z. T.	zum Teil
á	Signifikanz
ì g	Mikrogramm
ì m	Mikrometer
%	Prozent
°C	Grad Celsius

10. Danksagung

Meinem Mentor, Herrn Professor Dr. K. Fiedler (Direktor des Institutes für Allgemeine, Krankenhaus- und Umwelthygiene der Friedrich-Schiller-Universität Jena) danke ich besonders für die freundliche Überlassung des Themas sowie die gewährte Unterstützung und sorgfältige Betreuung während der Durchführung der Arbeit.

Weiterhin gilt mein Dank an Frau M. Lindner und allen Mitarbeiterinnen des mikrobiologischen Labors des Institutes für Allgemeine, Krankenhaus- und Umwelthygiene der Friedrich-Schiller-Universität Jena für ihre unterstützende Mitarbeit.

Ebenso bedanke ich mich bei Frau OÄ Dr. Henzgen für die Durchführung der Allergie-Diagnostik.

Herrn Dr. R. D. Recknagel danke ich für die Beratung und Unterstützung bei der Bearbeitung des statistischen Teils der Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt den Bewohnern der untersuchten Wohnungen.

Zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern und meinen Freunden für ihre Unterstützung bedanken.

11. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name, Vorname	Fleischmann, Sabine
Geburtsdatum, -ort	10.11.1975, Meiningen
Familienstand	ledig

Schulbildung

1982 – 1990	Allgemeine polytechnische Oberschule „Friedrich Schiller“ in Meiningen
1990 – 1991	Allgemeine polytechnische Oberschule „Hans Beimler“ in Meiningen
1991 – 1995	Gymnasium „Martin Pollich“ in Mellrichstadt
06/1995	Abitur

Hochschulbildung

09/1995 – 12/2001	Studium der Humanmedizin an der Friedrich-Schiller-Universität in Jena
09/1997	Ärztliche Vorprüfung
08/1998	1. Staatsexamen
09/2000	2. Staatsexamen
12/2001	3. Staatsexamen
03/2002	Einschreibung als Promotionsstudentin an der Friedrich-Schiller-Universität in Jena
Seit 1997	Arbeit an der Promotion

Berufstätigkeit

Seit 09/2002	Ärztin im Praktikum in der Inneren Medizin am Helios Klinikum Aue
--------------	---

12. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Prof. Dr. med. K. Fiedler (Direktor des Institutes für Allgemeine Krankenhaus- und Umwelthygiene der Friedrich-Schiller-Universität Jena)

Dr. R. D. Recknagel (Mathematiker)

Frau M. Lindner (Biologin) und Mitarbeiterinnen des mykologischen Labors des Institutes für Allgemeine, Krankenhaus- und Umwelthygiene der Friedrich-Schiller-Universität Jena,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderer Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 30.09.2002

Sabine Fleischmann