

Christoph Baudisch^a, Axel Kramer^b Schwerin, den 20.04.2005
^a Landesamt für Gesundheit und Soziales Mecklenburg-Vorpommern, Außenstelle Schwerin, Germany
^b Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Germany

Bewertung von Schimmelpilzen in Innenräumen

1 EINLEITUNG	2
2 KULTIVIERUNGSVERFAHREN	3
2.1 Raumlufmessungen	4
2.1.1 Impaktionsverfahren	4
2.1.2 Filtrationsverfahren	6
2.1.3 Bewertungshilfe für Luftproben - kultivierbare Schimmelpilze	7
2.1.4 Sedimentationsverfahren	7
2.2 Materialuntersuchungen	8
2.2.1 Schimmelpilzbefall auf Raumboflächen	8
2.2.2 Hausstaubuntersuchungen	9
2.2.3 Bewertung von Hausstaub der 63-µm-Fraktion	10
3 PARTIKELMESSVERFAHREN IN DER RAUMLUFT	10
3.1 Gesamtsporenmessung	10
3.1.1 Holbachsampler	10
3.1.2 Bewertungshilfe für Luftproben - Gesamtsporen	11
4 VERGLEICH VON SCHIMMELPILZMESSVERFAHREN	11
4.1 Einfluss einer Vakuumpumpe auf das Ergebnis von Schimmelpilzmessungen in der Raumluf (Kultivierungsverfahren)	11
4.2 Vorteile der Hausstaubprobenahme gegenüber der Luftprobenahme (Kultivierungsverfahren)	12
4.3 Zusammenfassung	13
5 LITERATUR	13

1 Einleitung

Biostoffbelastungen haben im Wesentlichen einen Teilchencharakter. Eine Ausnahme bilden die mikrobiologischen organischen Verbindungen (**Microbiological Volatile Organic Compounds - MVOC**) auf die an dieser Stelle nicht eingegangen werden soll. Aus der Sicht des Messtechnikers handelt es sich deshalb bei Schimmelpilzmessungen meist um Staubmessungen.

Hausstaub	⇒	Frischstaub	=	Staub mit bekanntem Alter z.B. gesaugter Hausstaub vom Fußboden
	⇒	Altstaub	=	Staub mit unbekanntem Alter z.B. Liegestaub auf Schränken oder unter Betten
Raumluft	⇒	Schwebstaub		
	⇒	Sedimentationsstaub		

Staubmessungen in der Luft (Schwebstaubmessung) sind erfahrungsgemäß mit wesentlich stärkeren Fehlerstreuungen als Gasmessungen behaftet. Im geschlossenen Innenraum findet man den Staub in der Luft, der von den Oberflächen (z.B. Frischstaub vom Teppich, Altstaub von den Schränken) oder auch z.B. von einem Schimmelpilzbefall, aufgewirbelt wird. Korrelationen zwischen Sporengelalten im Hausstaub (Frischstaub) und im Schwebstaub sind zu erwarten, was die Messungen von Laußmann et al. 2004 auch zeigten, jedoch wird diese Korrelation durch den Altstaubeinfluss bei Luftmessungen gestört.

Wo viel Staub ist kann auch viel Staub aufgewirbelt werden. Deshalb hängen Raumluftmessungen, einschließlich der Sedimentationsstaubmessung, die eine passive Raumluftmessung darstellt, von der Staubaufwirbelung, von der Anreicherung von Sporen im Altstaub und damit auch vom Reinigungszustand des Raumes ab. Gleichzeitig liefern sie die besten Informationen zur Belastung der Bewohner.

Eine Ausführliche Darstellung der Diagnostik von Feuchteschäden findet man u.a. im Schimmelpilz-Leitfaden der Innenraumlufthygienekommission 2002 [2] sowie im Bericht des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg 2002, Schimmelpilze in Innenräumen - Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement [3].

Im Folgenden wird beispielhaft auf Messverfahren eingegangen, die u.a. in einer Umweltforschungsplan-Studie (UFOPLAN) des UBA zur „Erhebung von Hintergrundwerten für die Bewertung von Schimmelpilzen im Innenraum“ [4], von Schleibinger et al. 2004 [5, 6, 7] sowie im Landesgesundheitsamt Mecklenburg-Vorpommern eingesetzt wurden.

2 Kultivierungsverfahren

Grundlage zur Anzucht mikrobiologischer Keime sind Nährmedien, die sich auf sogenannten Petrischalen befinden (flache zylindrische Schalen z.B. mit Durchmesser 90 mm).

Keimart	Nährmedium	Kürzel
Schimmelpilze	Dichloran-Glyzerin-Agar	DG-18
Schimmelpilze	Malzextraktagar	MEA
Actinomyceten	Glyzerin-Arginin-Agar	GAA
gramnegative Enterobakterien	Endo-Agar	Endo
Gesamtbakterien	Caseinpepton-Sojabohnenmehlpepton-Agar	CSA



Quelle: Homepage Labor Dr. Rabe

Zur quantitativen Bestimmung von Schimmelpilzen aus der Umwelt wird generell DG18 verwendet und speziell für die Kultivierung der Schimmelpilzgattungen *Acremonium*, *Chaetomium* und *Stachybotrys* Malzextraktagar. Die Auszählungen dieser Gattungen werden dann zum Ergebnis (DG 18) addiert. Nachdem die Keime auf den Agar in der Petrischale aufgespatelt wurden, werden sie über einen gewissen Zeitraum bei definierter Temperatur bebrütet [8, 9].

Üblicherweise verwendete Bebrütungstemperaturen:

Temp.	Schimmelpilz	Verwendung
25 °C	mesophil	wird i.d.R. zur Bewertung von Feuchteschäden herangezogen
37 °C	thermotolerant	gesundheitlich bedeutsame Keime, z.B. Aspergillen
45 °C	thermophil	z.B. selektiv für <i>Aspergillus fumigatus</i>

- Die Platten werden ab dem dritten Tag täglich bis zu zehn Tagen ausgezählt.
- Die Auszählung wird kurz vor der Bildung von Sekundärkolonien beendet.
- Zur Differenzierung der Schimmelpilze kann es notwendig sein, Subkulturen anzulegen.
- Für quantitative Bewertungen werden von jeder Probe jeweils drei Parallelplatten angelegt und der Mittelwert zur Bewertung herangezogen.
- Die Bestimmungsgrenzen für auswertbare Platten betragen minimal 10 KbE (Koloniebildende Einheiten) besser 20 KbE und maximal 100 KbE je Platte. Außerhalb der Bestimmungsgrenzen nimmt die Fehlerstreuung aufgrund der erhöhten Messwertstreuung am unteren Skalenende und durch gegenseitige Beeinträchtigung des Wachstums der Kolonien am oberen Skalenende, unzulässig stark zu.

- Garantiert qualitätsgesicherte Ergebnisse sind nur von Laboren zu erwarten, die erfolgreich an den Ringversuchen des Landesgesundheitsamtes (LGA) Baden-Württemberg teilgenommen haben (Seidel et al. 2005 [10]).

2.1 Raumlufmessungen

Bei der Raumlufmessung werden die Keime eines Probenahmeverfahrensvolumenstromes auf einem Sammelmedium abgeschieden und das Volumen gemessen. Die Keimsammlung erfolgt mittels filternden Verfahren, Impaktionsverfahren (Schlitzdüsen-, Sieb-/Lochdüsen-, Rotations- oder Stufenimpaktoren) und Impingerverfahren (Volumenstrom durch eine Nährstofflösung leiten; bevorzugt für Bakterien geeignet, die keinen Trockenstress aushalten). Zur Bestimmung des Probenahmeverfahrensvolumens werden entweder Gaszähler (direkte Volumenmessung) oder Volumenstrommesser (Volumenstrom konstant vorkalibriert) und die Probenahmezeit (vorwählbar) eingesetzt.

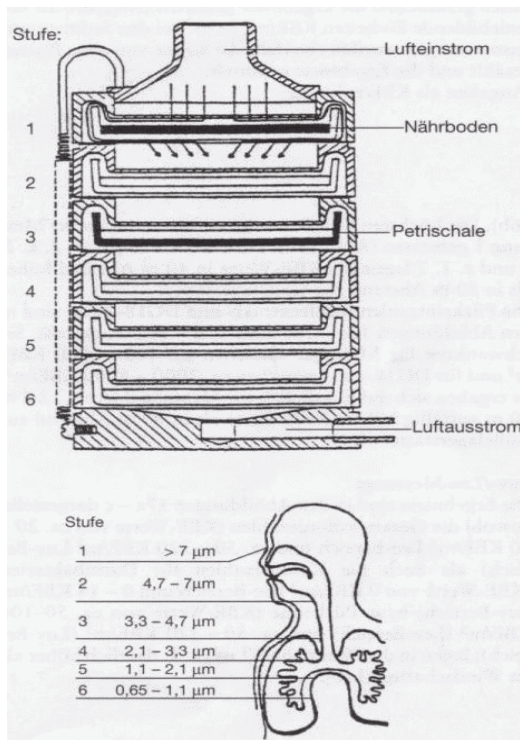
Weiterhin wird zur Bewertung der Innenraumlufproben gemäß Schimmelpilzleitfaden jeweils eine Außenluftmessung benötigt, um den Außenlufteinfluss, der im Sommer vereinzelt sehr hoch sein kann, zu berücksichtigen. Die Vernachlässigung des Außenlufteinflusses, wie von Schleibinger et al. 2004 [5] vorgeschlagen, ist bezogen auf Gesamtdeutschland nicht möglich (siehe Ergebnisse UFOPLAN 2004 [4]).

Bewertungen für Raumlufmessungen beziehen sich i.d.R. auf „ruhende Luft“. Eine letztmalige Lüftung erfolgt am Tag vor der Messung. Die Probenahme ist in einem Probenahmeprotokoll nachvollziehbar zu dokumentieren (Beachtung der VDI 4300 Blatt 1 [11]).

2.1.1 Impaktionsverfahren

Das Prinzip der Impaktion beruht auf der Trägheitsabscheidung von Partikeln bei abrupter Umlenkung der Strömung, z.B. beim Aufprall eines Luftstrahles auf eine mit Nährboden gefüllte Petrischale. Die Keime gelangen ohne weitere Zwischenschritte zur Bestimmung auf den Nährboden. Das Verfahren heißt deshalb **direktes Verfahren**. Durch Division mit dem Probenahmeverfahrensvolumen, das sich unterschiedlich vorwählen lässt, erhält man die Keimkonzentration in der Luft. Da immer der Durchschnitt aus mindestens drei Petrischalen gebildet werden soll, müssen nacheinander drei Proben oder, falls drei Probenahmegeräte vorhanden sind, parallel zwei weitere Proben, gezogen werden. Nach jedem Wechsel der Probenahmestelle ist der Probenahmekopf durch einen anderen sterilisierten Probenahmekopf zu ersetzen.

2.1.1.1 Anderson Impaktor von Anderson (USA, Stufenimpaktor)



- Neben dem Anderson Impaktor (Probenahmekopf) werden eine Probenahmepumpe (Vakuumpumpe) und ein Gaszähler benötigt.
- Korngrößenfraktionierte Abscheidung der Staubpartikel auf den 6 Stufen des Impaktors.
- Schleibinger et al. verwendeten einen zweistufigen Impaktor [5] (Trennschnitt Korngröße bei 7 μm).

Schematischer Aufbau eines Anderson-Luftkeimsammlers (Quelle: Fa. Anderson Inc. Carmel Valley) und Atemwegstraktschema

2.1.1.2 MAS-Sammler von Merck (Sieb- oder Lochdüsenimpaktor)



- 10 cm Petrischalen
- Volumenstrom 100 Liter/min \pm 2,5 %; vorkalibriert
- 1 bis 2000 Liter voreinstellbar
- programmierbar
- Abmessung 26 X 11 cm
- bis zu 45 000 Liter in 7,5 Stunden mit einer Batterieladung
- Batterie und Netzbetrieb
- Kopf sterilisierbar [12]

(Quelle: Prospekt Merck)

2.1.1.3 Weitere Impaktoren

Weitere Impaktoren sind beispielsweise der SAS Super 90 (Lochdüsenimpaktor von Zinsser), der RCS Plus (Zentrifugalimpaktor von Biotest) oder der FH2 (Schlitzdüsenimpaktor von Loreco).

2.1.2 Filtrationsverfahren

Für die filternde Luftprobenahme von Schimmelpilzen können alle für Schwebstaubmessungen eingesetzten Probenahmegeräte zum Einsatz kommen. Begrenzungen sind zu beachten bei zu kleinem Probenahmevermögen (z.B. PGP-GGP Personengetragenes Gefahrstoff-Probenahmesystem - Gesamtstaub-Gas-Probenahme der Firma GSA Messgerätebau GmbH, Volumenstrom von 0,21 m³/h (3,5 l/min); für sehr hohe Konzentrationen am Arbeitsplatz geeignet) oder zu großem Probenahmevermögen. Es sollte nicht mehr als 1/10 des Raumvolumens der Probenahme dienen.

Die filternden Messverfahren für Biostoffmessungen sind näher beschrieben in den VDI-Richtlinien VDI 4252 Bl. 2 (2004), VDI 4253 Bl. 2 (2004) und der TRBA 430 [13, 14, 15].

2.1.2.1 Direkte Methode

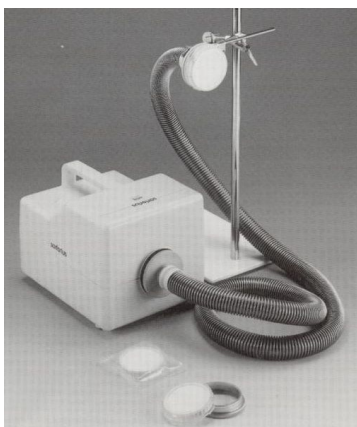
Für die direkte Methode mit dem Filtrationsverfahren werden Gelatinefilter verwendet. Gleich nach der Probenahme kommen sie mit der beaufschlagten Seite auf den jeweiligen Nährboden und werden dann wie jede andere mit Nährboden und Keimen beladene Petrischale behandelt (siehe oben).

2.1.2.2 Indirekte Methode

Die indirekte Methode ist eine Verdünnungsmethode, die darauf beruht, z.B. Gelatinefilter im Labor in 10 ml 0,9% NaCl / 0,01 % TWEEN 80 unter Schütteln bei 30 °C aufzulösen oder mit dieser Lösung die Sporen von Polycarbonatfiltern abzulösen. Durch Verdünnung auf 1/10 und 1/100 erhält man schließlich drei Ausgangssuspensionen, von denen jeweils 100 µl (als auch 200 µl) auf jeweils drei parallelen Agarplatten der gewünschten Nährböden ausgespatelt werden.

2.1.2.3 Beispiele für filternde Luftkeimsammler

MD8 der Firma Sartorius



- Verwendung von Gelatinefiltern mit 8 cm Durchmesser, die sich in sterilen Filterkassetten befinden
- Volumenstrom und Zeit in Stufen programmierbar
- Akku- und Netzbetrieb möglich

Quelle: Prospekt der Fa. Sartorius

KleinfILTERGERÄT

Das KleinfILTERGERÄT GS 050 der Firma Derenda entsprechend VDI 2463 Bl. 7 [16] ist ein typisches Schwebstaub-Messgerät, das in Innenräumen eingesetzt wird. Der Volumenstrom beträgt 2,7 bis 2,8 m³/h. Die Messzeit ist vorwählbar. Hat

man nur den Probenahmekopf gemäß VDI 2463 Bl. 8, benötigt man zusätzlich eine Vakuumpumpe und einen Gaszähler.

2.1.3 Bewertungshilfe für Luftproben - kultivierbare Schimmelpilze

[KbE/m ³]	Kategorie 1 Innenraumquelle unwahrscheinlich	Kategorie 2 Innenraumquelle nicht auszuschließen	Kategorie 3 Innenraumquelle wahrscheinlich
AL-Typ-Sommer	RL ≤ AL	RL ≤ (ALx2)	RL > (ALx2)
Σ RL-Typ	RL ≤ (AL+150)	RL ≤ (AL+500)	RL > (AL+500)
Einzelgattung	RL ≤ (AL+100)	RL ≤ (AL+300)	RL > (AL+300)
Einzelart	RL ≤ (AL+50)	RL ≤ (AL+100)	RL > (AL+100)
Einzelart geringe Sporenfreisetzung*	RL ≤ (AL+30)	RL ≤ (AL+50)	RL > (AL+50)

AL - Außenluft; RL - Raumluft; * z.B. *Philophora* sp. oder *Stachybotrys chartarum*
(Quelle: Trautmann et al. 2005 [12])

Diese Bewertungshilfe bezieht sich auf „ruhende Luft“. Große Fehler in der Bewertung entstehen bei Aufwirbelung des Hausstaubes durch externe Vakuumpumpen mit Motorlüfter.

Schleibinger et al. 2004 [5] ermittelte für den zweistufigen Anderson-Impaktor (Trennschnitt 7 µm) für die Summe der Leitgattungen *Penicillium* und *Aspergillus* einen Schwellwert für Räume mit Feuchteschäden in Höhe von 110 KBE/m³ ohne Außenluftkorrektur (mit Berücksichtigung der Außenluft 80 KbE/m³). Dieser Beurteilungswert ist nicht übertragbar auf andere Messverfahren, weil einerseits beim Anderson-Impaktoren Seitenwandverluste auftreten und andererseits die Raumluft bei der Probenahme mit einer Vakuumpumpe aufgewirbelt wurde.

2.1.4 Sedimentationsverfahren

Zur Messung der Sporensedimentation werden offene, mit Nährboden gefüllte Petrischalen über einen definierten Zeitraum im Raum aufgestellt und danach, wie bei Kultivierungsverfahren üblich, im Labor ausgewertet. Die Probenahme funktioniert wie bei einem Passivsammler, indem Sedimentationsstaub über einen längeren Zeitraum angereichert wird.

Schleibinger et al. 2004 [6] fanden bei einer maximal 24-stündigen Probenahme und einer Bewertung nach Leitgattungen (*Penicillium* + *Aspergillus*) eine gute Zuordnung der Ergebnisse zu Schimmel- und Nicht-Schimmel-Wohnungen. Eine Überschreitung des Schwellwertes in Höhe von 10 KbE pro Petrischale (Ø 90 mm) und Tag spricht für einen Feuchteschaden im untersuchten Raum.

Die Schimmelpilzleitfäden [2, 3] raten von dieser Methode ab, da es zum Austrocknen der Nährböden kommen kann. Andererseits können Sedimentationsplatten leicht von Bewohnern manipuliert werden.

2.2 Materialuntersuchungen

In der Praxis werden verschiedene Materialien, wie z.B. Tapete, Hausstaub, Putz und Holz auf Schimmelpilze untersucht. Um Feuchteschäden eindeutig nachzuweisen, sollten quantifizierbare Messmethoden bevorzugt werden. Gängige Methoden zur qualitativen Bewertung von Materialproben sind:

- Abklatschprobe: direkte Kultivierung von Schimmelpilzen auf einer mit Nährboden gefüllten Abdruckplatte
- Klebefilmabriss-Präparat: direkte mikroskopische Betrachtung, Anfärbung mit Baumwollblau oder Lactophenolblau (Mikroskop bis zu 1000-facher Vergrößerung)
- suspendierte Materialprobe: siehe Hausstaubuntersuchung
- direkte mikroskopische Betrachtung einer Materialprobe (z.B. Tapete mit dem Auflicht Stereomikroskop)

2.2.1 Schimmelpilzbefall auf Raumbooberflächen

Feuchteschäden in Räumen zeigen sich in den meisten Fällen durch Schimmelpilzbefall auf Wandflächen. Diese eindeutigen Zusatzbelastungen durch Biostoffe lassen sich relativ leicht quantitativ dokumentieren (Foto) und qualifizieren (Untersuchung von Materialproben wie oben).

Bewertung von Materialproben mit Schimmelpilzbewuchs

	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3
Schadensausmaß sichtbare und nicht sichtbare Materialschäden	keine bzw. sehr geringe Biomasse (z. B. geringe Oberflächenschäden < 20 cm ²)	mittlere Biomasse; oberflächliche Ausdehnung < 0,5 m ² , tiefere Schichten sind nur lokal begrenzt betroffen	große Biomasse; große flächige Ausdehnung > 0,5 m ² , auch tiefere Schichten können betroffen sein

Wichtige Anmerkungen zu sichtbarem Schimmel an Materialien!

Tiefenschäden: wenn bei einem Oberflächenschaden der Pilzbewuchs tief in das Material geht, muss der Schaden entsprechend dem Befallsumfang ggf. höheren Kategorien zugeordnet werden.

Es ist zwischen einem **aktiven Befall** und einem abgetrockneten Altschaden oder einer Sporenkontamination zu unterscheiden: Bei einem aktiven Befall sollte fallbezogen durch die Sachverständigen entschieden werden, ob die Kategorie erhöht wird, denn:

1. Die Mikroorganismenpopulation kann sich relativ schnell ändern, und es können unerwartete krankheitsserregende Schimmelpilzarten auftreten.
2. Es können kontinuierlich und über längere Zeit hohe Mengen lebensfähiger Sporen abgegeben werden (im Gegensatz dazu nimmt bei einem Altschaden die Sporenkonzentration und deren Lebensfähigkeit mit der Zeit ab).
3. Ein aktiver Schimmelpilzbefall stellt häufig die Nährstoffgrundlage für andere Organismen wie z. B. Milben dar. Nach Austrocknung eines Schadens nimmt in der Regel die Anzahl dieser Organismen schnell ab.

Organismenzusammensetzung: Ein häufiges bis überwiegendes Auftreten von Schimmelpilzarten, denen eine besondere gesundheitliche Bedeutung zugeordnet wird (z.B. *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Stachybotrys chartarum*), führt zu einer Verschiebung in eine höhere Kategorie.

Quelle: [3]

Die Art der Messung erscheint besonders geeignet um Feuchteschäden validiert zu beurteilen. Ein Wandbefall größer als 20 cm² (ab Kategorie 2) durch Schimmelpilze ist aus Sicht der Autoren ein eindeutiger Nachweis einer zusätzlichen Biostoffbelastung, die somit Handlungsbedarf im Sinne der vorbeugenden Gefahrenabwehr signalisiert. Geht es nur um eine Sanierungsentscheidung und nicht um die Klärung gesundheitlicher Probleme, gelangt man mit diesem Verfahren sehr schnell zu einem Ergebnis.

2.2.2 Hausstaubuntersuchungen

Baudisch et al. 2001 [17] entwickelte ein modifiziertes Hausstaubmessverfahren zur quantitativen und qualitativen Bewertung von Schimmelpilzen in der 63-µm-Fraktion, auf Grundlage einer Leitkeimbewertung (Summe Gattungen *Aspergillus* + *Eurotium*; Gattung *Penicillium*). Das Verfahren wurde von Gabrio et al. 2005 [8] standardisiert und hat sich in der UFOPLAN-Studie zur „Erhebung von Hintergrundwerten für die Bewertung von Schimmelpilzen im Innenraum“ [4] für die von Baudisch vorgeschlagene Bewertung nach Leitgattungen bewährt (Baudisch, Kramer 2005, in Vorbereitung).

Grundlage ist die Gesamtstaubmethode zur Bestimmung des Schimmelpilzgehaltes im Hausstaub auf DG 18-Agar der European collaborative action 1993 [19], modifiziert durch Siebung (5 Minuten) des Hausstaubes auf die 63 µm-Fraktion.

Die **Probenahme** erfolgt von der begehbaren Teppichfläche mittels Filterhalter nach VDI 4300 Bl. 8 [20].



- 7 Tage vor der Probenahme letztmalig Staubsaugen
- Verwendung von Polycarbonatfiltern Ø 5 cm
- Einsatz einer Vakuumpumpe und eines Rotameters zur Volumenstrommessung
- Düsenöffnung Ø 6 mm - Volumenstrom 15 l/min
Düsenöffnung Ø 10 mm - Volumenstrom 42 l/min
- mindestens 4 Teilflächen zu je ½ m² in 10 min absaugen (z.B. mit Saugrahmen)
- möglichst 100 mg 63-µm-Staub sammeln; notfalls weitere Teilflächen absaugen

Quelle: VDI 4300 Blatt 8

Zur Kultivierung der Schimmelpilze aus der 63-µm-Fraktion des Hausstaubes in einer dreistufigen Verdünnungsreihe kommt physiologische Kochsalzlösung (0,9 % NaCl / 0,001 % TWEEN 80 Lösung) zum Einsatz. Die Ausspatelung erfolgt bevorzugt auf jeweils drei DG18 Agarplatten bei 25 ± 3 °C und zusätzlich auf je drei Malzagarplatten bei 25 ± 3 °C und 37 ± 1 °C für weitere Feuchteindikatoren. Hefen werden nicht in die Bewertung einbezogen.

2.2.3 Bewertung von Hausstaub der 63-µm-Fraktion

Feuchteschäden sind mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten bei Überschreitung der Bewertungskriterien für die Leitgattungen in Abhängigkeit von der Gesamtkeimzahl

Gesamtkeimzahl (GKZ) ohne Hefen (KbE/g)	Leitgattung <i>Aspergillus- + Eurotium spec</i> Gehalt (KbE/g) bzw. Anteil (%)
0 - 500.000	≥ 200.000 KbE/g
500.000 - 2.000.000	≥ 20 %
> 2.000.000	≥ 420.000 KbE/g

Gesamtkeimzahl (GKZ) ohne Hefen in (KbE/g)	Leitgattung <i>Penicillium spec</i> Gehalt (KbE/g) bzw. Anteil (%)
0 - 500.000	≥ 300.000 KbE/g
500.000 - 2.000.000	≥ 20 %
> 2.000.000	≥ 450.000 KbE/g

Quelle: Baudisch, Kramer 2005 in Vorbereitung

3 Partikelmessverfahren in der Raumluft

In der Krankenhaushygiene kommen optische Partikelzählergeräte zur Untersuchung von OP-Räumen zum Einsatz. Über die Begrenzung der Partikelzahl in der Raumluft wird auch die Keimbelastung reguliert. Die Partikelzahl gibt keine Auskunft über die vorkommenden Keimarten.

3.1 Gesamtsporenmessung

3.1.1 Holbachsammler



Quelle: Prospekt der Firma Holbach

- Partikelsammler auf der Grundlage eines Schlitzdüsenimpaktors
- Impaktion der Partikel auf einem adhäsiv beschichteten Objektträger
- 3 Proben auf einem Objektträger
- direkte mikroskopische Betrachtung, Anfärbung mit Lactophenolblau (Mikroskop bis zu 1000-facher Vergrößerung)
- 50 - 200 l Probenahmevol. (30 l/min)
- Reinigung des Sammelkopfes nach jeder Probenahme [12]

Die Differenzierung auf einzelne Arten ist nicht so weit möglich, wie bei den Kultivierungsmethoden. Vorteilhaft ist die Bestimmung auch toter Sporen und Spo-

renaggregate (z.B. nach Anwendung von Fungiziden). Zusätzlich werden Bakterienaggregate, Pollen, Hautschuppen, Fasern, Haare und mineralische oder organische Staubbestandteile erfasst.

3.1.2 Bewertungshilfe für Luftproben - Gesamtsporen

[Sporen/m ³]	Kategorie 1 Innenraumquelle unwahrscheinlich	Kategorie 2 Innenraumquelle nicht auszuschließen	Kategorie 3 Innenraumquelle wahrscheinlich
AL-Typ	RL ≤ (ALx1,2)	RL ≤ (ALx2)	RL > (ALx2)
Σ Typ Asp./Peni.	RL ≤ (AL+300)	RL ≤ (AL+800)	RL > (AL+800)
Stachybotrys	RL ≤ AL	RL ≤ (AL+10)	RL > (AL+10)
Chaetomium	RL ≤ AL	RL ≤ (AL+20)	RL > (AL+20)
Σ diverse Pilze*	RL ≤ (AL+400)	RL ≤ (AL+800)	RL > (AL+800)
Myzelbruchstücke	RL ≤ (AL+150)	RL ≤ (AL+300)	RL > (AL+300)

(Quelle: Trautmann et al. 2005 [12]); AL - Außenluft; RL - Raumluft; * wenig von der Außenluft beeinflusst

Große Fehler in der Bewertung entstehen bei Aufwirbelung des Hausstaubes durch externe Vakuumpumpen mit Motorlüfter. Diese Bewertungshilfe bezieht sich auf „aufgewirbelte Luft“, weil bisher zur Probenahme externe Vakuumpumpen eingesetzt wurden.

4 Vergleich von Schimmelpilzmessverfahren

4.1 Einfluss einer Vakuumpumpe auf das Ergebnis von Schimmelpilzmessungen in der Raumluft (Kultivierungsverfahren)

Der nachfolgenden Tabelle ist die Anzahl unbelasteter Wohnzimmer zu entnehmen, in denen mit den unterschiedlichen Messverfahren (UFOPLAN-Studie 2004 [4]) Belastungen (Innenraumquelle wahrscheinlich, ein- oder mehrfache Überschreitung von Beurteilungswerten) durch Schimmelpilze nachgewiesen wurden (entsprechend **falschpositive Befunde** von n = 157; Spezifität - Anteil richtig negativer Proben in unbelasteten Wohnungen):

Hausstaub, einstufig, Leitkeimbewertung [17]	Hausstaub zweistufig, alle Feuchteindikatoren, [18]	Luft, Kultivierung [12]	Luft, Gesamtsporen [12]
2	16	48 (*9)	11
Spez. = 99 %	Spezifität = 90 %	Spez. = 69 % (* 96 %)	Spez. = 93%

(* Die Spezifität ließ sich aufgrund einer unbeeinflussten Wintermessung in MV grob auf 96 % schätzen [Baudisch, Kramer 2005, in Vorbereitung]).

Die Gesamtsporenmethode zeigte bei der UFOPLAN-Studie [4] im Vergleich zum Luft-Kultivierungsverfahren wesentlich weniger falschpositive Befunde. Die besten Ergebnisse lieferte die Hausstaubmethode (63 µm) mit einstufiger Leitkeimbewertung.

Zur Abklärung des Einflusses einer Vakuumpumpe (MP600E, SASKIA), die parallel zur Probenahme der Gesamtsporen lief, auf das schlechte Ergebnis der Schimmelpilzmessungen in der Raumluft mit dem Kultivierungsverfahren, wurden Messungen mit Aufwirbelung und ohne Aufwirbelung (mit oder ohne Vakuumpumpe) in einem Testraum durchgeführt (filternder MD8-Sammler der Firma Sartorius, direktes Verfahren, siehe Pkt. 2.1.2.3):

	Schimmelpilzkonzentration in der Raumluft [KbE/m ³]		
	Gesamtkeimzahl	Asp + Euro	Peni
ohne Aufwirbelung	84	18	55
mit Aufwirbelung	655	8	632
Faktor	7,8	0,4	11,5

Der Einfluss der Staubaufwirbelung übersteigt alle anderen (zufälligen) Fehlereinflüsse von Schimmelpilzmessungen in der Raumluft [9]. So wurde die Konzentration der Gattung *Penicillium* um den Faktor 11,5 durch die Staubaufwirbelung erhöht. Die schlechte Spezifität der Schimmelpilzmessungen in der Raumluft mit dem Kultivierungsverfahren ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den gleichzeitigen Einsatz der Vakuumpumpe für die Gesamtsporenmessung zurückzuführen. Sollen zukünftig kultivierbare Schimmelpilze in der Raumluft gemessen und gemäß der Tabelle unter Punkt 2.1.3 bewertet werden, dürfen externe Vakuumpumpen bei der Messung im Raum nicht betrieben werden. Dagegen wurde die Gesamtsporenmessung mit Vakuumpumpe im Raum validiert und deshalb nicht beeinträchtigt.

4.2 Vorteile der Hausstaubprobenahme gegenüber der Luftprobenahme (Kultivierungsverfahren)

- **Kein Einfluss unterschiedlicher Probenahmeverfahren**
siehe auch Gabrio et al. 2005 [9] (Vergleich von Luftmessverfahren)
- **Kein Einfluss der Lüftung**
Da bei Luftmessungen am Vortag das Fenster geschlossen wird, hat die zum Zeitpunkt der Innenraumluftmessung stattfindende Außenluftmessung keinen direkten Bezug zur Innenraumbelastung, weil Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft sehr stark schwanken können (Schleibinger et al. 2004 [5])
- **Kein Einfluss der Staubaufwirbelung**
- **Fehlereinflüsse durch Reinigungszustand und Altstaubeinfluss können vermieden werden**
Bei einer vergleichenden Untersuchung von Frisch- (Liegezeit 1 Woche) und Altstaub (Liegezeit 1 Jahr) in einem unbelastetem Raum zeigte der Altstaub einen Feuchteschaden an, der Frischstaub jedoch nicht (Baudisch, Kramer 2005 in Vorbereitung). Für die Leitgattungen *Aspergillus* + *Eurotium* und *Penicillium* betrug der Anreicherungsfaktor jeweils 21.
- **unproblematischer Transport**
Trockener Hausstaub lässt sich gegenüber beladenen Nährmedien, auf denen Schimmelpilzkolonien wachsen, unproblematisch transportieren und lagern.

- **Fehlereinfluss durch Verunreinigungen bei der Hausstaubprobenahme gering:**
100 KbE als Verunreinigung sind in einer Hausstaubprobe nicht messbar, da z.B. die Bestimmungsgrenze für eine Suspension von 100 mg Hausstaub in 10 ml physiologischer Kochsalzlösung bei 10.000 KbE/g liegt. In einer Luftprobe (direkte Methode) würden 100 KBE eines Feuchteindikators als Verunreinigung zu einem falschpositiven Ergebnis führen.
- **einstufige Bewertung möglich**
Schleibinger et al. 2004 [7] und Baudisch et al. 2001 [17] bewerten den Hausstaub einstufig nach Leitgattungen. Die fehlende Siebung führt bei Schleibinger zu zusätzlichen Fehlern.

Für Luftmessverfahren wurde die einstufige Bewertung nach Leitgattungen, außer von Schleibinger et al. 2004 [5] speziell für den Anderson-Kaskadenimpaktor, bisher nicht eingeführt.
- **geringe Anforderungen an die Probenehmer**

4.3 Zusammenfassung

Hausstaubmessungen in der 63- μ m-Fraktion mit Leitkeimbewertung eignen sich aus Sicht der Autoren am besten zur Erkennung von Feuchteschäden in Räumen. Jedoch lässt sich die Schimmelpilz-Belastung des Menschen (Exposition) besser durch Luftmessungen und eine möglichst vollständige Differenzierung der Gattungen und Arten abbilden.

Hausstaub- und Raumlufmessungen liefern in Bezug auf Schimmelpilze unterschiedliche Ergebnisse. Der Hausstaub (Frischstaub) gibt Auskunft über mögliche Schimmelpilzquellen im Raum. Die über den Alt-, Frischstaub und Schimmelpilzquellen integrierende Luftmessung beschreibt die Exposition des Menschen. Qualitative Übereinstimmungen der Ergebnisse von Hausstaub- und Luftmessungen werden durch den Altstaubeinfluss (bei der Luftmessung) gestört. Je schlechter ein Raum gereinigt ist, um so schlechter werden die Ergebnisse von Staub- und Luftmessungen übereinstimmen.

5 Literatur

- [1] Laußmann D, Eis D, Schleibinger H (2004) Vergleich mykologischer und chemischer-analytischer Labormethoden zum Nachweis von Schimmelpilzbefällen in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 47 (11):1078-1094
- [2] UBA 2002. Schimmelpilz-Leitfaden der Innenraumlufthygiene-Kommission UBA: Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen (<http://www.umweltdaten.de/medien/schimmelpilze.pdf>)
- [3] LGA B-W Berichte. Arbeitskreis „Qualitätssicherung - Schimmelpilze in Innenräumen“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Schimmelpilze in Innenräumen - Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement, 2002; Handlungsempfehlungen für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen, 2004; <http://www.gesundheitsamt-bw.de/servlet/PB/menu/1141435/index.html>

- [4] UFOPLAN-Studie (2004), Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Umweltmykologie Berlin, Landesgesundheitsamt Mecklenburg-Vorpommern, Universitätsklinikum Aachen, Institut für Hygiene und Umweltmedizin. Abschlußbericht des vom Umweltbundesamt geförderten Verbundprojekts, Erhebung von Hintergrundwerten für die Bewertung von Schimmelpilzen im Innenraum. Eigenverlag, Stuttgart
- [5] Schleibinger H, Laußmann D, Samwer H et al. (2004) Unterscheidung von Schimmel- und Nichtschimmelwohnungen anhand luftgetragener Sporen. Ergebnisse einer Feldstudie im Großraum Berlin. Umweltmed Forsch Prax 9 (4):251–262
- [6] Schleibinger H, Laußmann D, Eis D et al. (2004) Unterscheidung von Schimmel- und Nichtschimmelwohnungen anhand sedimentierender Sporen. Ergebnisse einer Feldstudie im Großraum Berlin. Umweltmed Forsch Prax 9 (5):289-297
- [7] Schleibinger H, Laußmann D, Eis D et al. (2004) Unterscheidung von Schimmel- und Nichtschimmelwohnungen anhand der Konzentrationen von Schimmelpilzen aus Hausstaubproben. Ergebnisse einer Feldstudie im Großraum Berlin. Umweltmed Forsch Prax 9 (6):363-376
- [8] Gabrio T, Dill I, Trautmann C, Weidner U (2005) Schimmelpilze im Hausstaub – Probenahme und Bestimmung. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 48, 1: 21-28
- [9] Gabrio T, Dill I, Trautmann C, Weidner U (2005) Schimmelpilze in Luft - Probenahme und Bestimmung. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 48, 1: 3-11
- [10] Seidel HP, Gabrio T, Weidner U, Dill I, Fischer G, Grün L, Hoekstra ES, Rabe R, Samson RA, Trautmann C (2005) Ringversuch „Innenraumrelevante Schimmelpilze“ Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 48 (1):36-42
- [11] VDI 4300 Blatt 1. Messen von Innenraumluftverunreinigungen Allgemeine Aspekte der Meßstrategie. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. Beuth Verlag Berlin 1995
- [12] Trautmann C, Gabrio T, Dill I, Weidner U, Baudisch C (2005) Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilzen in Luft. Erhebung von Schimmelpilzkonzentrationen in Wohnungen ohne bekannte Schimmelschäden in 3 Regionen Deutschlands. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 48, 1: 12 - 20
- [13] VDI-Richtlinie, VDI 4252 Bl. 2 (2004) Erfassen der luftgetragenen Mikroorganismen und Viren in der Außenluft, Aktive Probenahme von Bioaerosolen, Abscheidung von luftgetragenen Schimmelpilzen auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern
- [14] VDI-Richtlinie, VDI 4253 Bl. 2 (2004) Erfassen der luftgetragenen Mikroorganismen und Viren in der Außenluft, Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelpilz-Konzentration in der Luft, Indirektes Verfahren nach der Probenahme auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern
- [15] TRBA 430 (Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe). Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz. Bundesarbeitsblatt 1997; (10):74-77
- [16] VDI-Richtlinie, VDI 2463 Bl. 7 (1982) Messen von Partikeln; Messen der Massenkonzentration (Immission); Filterverfahren; Kleinfiltergerät GS 050
- [17] Baudisch C, Sadek H, v. Stenglin M (2001) Erste Ergebnisse eines modifizierten Hausstaubmessverfahrens zur quantitativen und qualitativen Bewertung von Schimmelpilzen. Umweltmed Forsch Prax 6, 5: 265-274
- [18] Trautmann C, Gabrio T, Dill I, Weidner U (2005) Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilzen in Hausstaub. Erhebung von Schimmelpilzkonzentrationen in Wohnungen ohne bekannte Schimmelschäden in 3 Regionen Deutschlands. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 48, 1: 29-35
- [19] EUR 14988 EN, Commission of the European Communities (1993) Biological particles in indoor environments., Report No. 12: S. 1-81
- [20] VDI-Richtlinie, VDI 4300, Blatt 8 (2001): Messen von Innenraumluftverunreinigungen-Probenahme von Hausstaub; Beuth, Berlin, Wien, Zürich