

# Schimmelpilze im Sedimentationsstaub von Büroräumen und stichprobenhafter Vergleich mit Luftproben

H.-D. Neumann, M. Buxtrup, K. Klus

**ZUSAMMENFASSUNG** Ziel dieser Arbeit war es, durch eine Langzeitaufnahme luftgetragener Schimmelpilze im Sedimentationsstaub eine Interpretationshilfe zur Beurteilung von Schimmelpilzbefall in Büroräumen zu erarbeiten. Ablagerungsorte waren in der Regel die Oberflächen der Deckenplatten von Büroschränken. Die Untersuchungen erfolgten über zwei Jahre in acht Räumen von vier Bürogebäuden an vier unterschiedlichen Standorten in Nordrhein-Westfalen. Die Sammelzeit betrug jeweils zwei Monate, sodass eine jahreszeitliche Zuordnung der Ergebnisse möglich war. Zusätzlich wurden auch Luftproben genommen. Routinemäßig wurden in den 96 Proben 105 direkt auf den Nährböden bestimmbare Schimmelpilzspezies und -gattungen differenziert. Es zeigte sich, dass die Methode der Untersuchung von Schimmelpilzen im Sedimentationsstaub geeignet ist, Schimmelpilzkontamination in Innenräumen aufzuspüren. Dabei ergibt die Untersuchung der Staubproben eine bessere Differenzierung von Gattungen und Spezies als die in Luftproben.

## 1 Einleitung

Gesundheitliche Beschwerden in Innenräumen werden häufig mit vermuteten oder erkennbaren Schimmelpilzbelastungen in Verbindung gebracht. Wenngleich Dosis-Wirkungs-Beziehungen für solche Beschwerden durch Schimmelpilze in Innenräumen bislang noch nicht abgeleitet werden konnten, sollten Schimmelpilzvorkommen in Innenräumen sachgerecht beurteilt werden können. Da Schimmelpilze aber ubiquitär vorhanden sind, ist die Beurteilung von Schimmelpilzbefall in Innenräumen, sei es durch Feuchteschäden oder eingetragene Quellen, eine komplexe Aufgabe. In der Regel dient dazu eine punktuelle Probenahme der Schimmelpilze in den betroffenen Räumen und in der Außenluft. Dabei ist es oft zweifelhaft, ob das Ergebnis aussagekräftig ist, da Konzentrationen vom Sporenflug zum Messzeitpunkt abhängen. Alternativ zu den Luftproben können Materialproben, Abklatsch- oder Klebefilmproben sowie Staubproben genommen werden. Bei Staubprobenahmen auf Fußböden werden allerdings auch die Schimmelpilze erfasst, die durch Verschmutzungen in den Raum eingetragen werden.

Ziel dieser Arbeit war es, Schimmelpilzkonzentrationen im Sedimentationsstaub auf höher gelegenen Flächen in Büroräumen zu ermitteln. Die Nachteile von Luft- und Staubproben werden da-

## Mould in settled dust in offices and random comparison with air samples

**ABSTRACT** The purpose of this project was to obtain a long-term record of airborne mould in settled dust which would then serve as a guide for the assessment of mould infestation in offices. The sites of deposition were generally surfaces of the tops of office cabinets. The studies were generally conducted over a period of two years in eight rooms in four office buildings at four different sites in North Rhine-Westphalia. Each collection period lasted two months, enabling the results to be referenced to the season. Air samples were also taken. A standard analysis was performed of the 96 samples taken, in which 105 mould species and genera were differentiated. The method selected was shown to be suitable for detecting mould contamination in indoor areas, and study of dust samples to permit better differentiation of genera and species than study of air samples.

durch vermieden. Dazu wurde eine Langzeitaufnahme von luftgetragenen Schimmelpilzen im Sedimentationsstaub auf höher gelegenen Ablagerungsflächen in Büroräumen durchgeführt. Die Staubsammelphase betrug jeweils zwei Monate. Der Sporenflug von Spezies aus Innenraumquellen wurde somit sicherer erfasst als bei Luft- oder Fußbodenstaubproben und war nicht vom Messzeitpunkt abhängig. Durch die hoch gelegenen Ablagerungsflächen ist sichergestellt, dass die Schimmelpilze luftgängig und somit inhalativ verfügbar waren. Ferner ist der Zeitraum der Staubprobenahme bekannt, sodass die Ergebnisse jahreszeitlich interpretiert werden können. Im Gegensatz zu Fußbodenstaubproben unterbleiben Kontaminationen durch eingetragenen Staub, und das Gewicht sowie die Zusammensetzung des Staubes sind nicht abhängig von der Art, dem Alter und dem Zustand des Bodenbelages. Ein entsprechendes Verfahren für Klassenräume wurde bereits vorgestellt [1; 2].

Zusätzlich zu den Staubproben wurden jeweils zur Mitte der jeweiligen Staubsammelphase Luftproben in den Büroräumen genommen. Diese sind noch nicht abschließend ausgewertet. Aus der Auswertung von Stichproben der Raumluft- und Außenluftmessungen jeweils einmal aus dem Winter- und dem Sommerhalbjahr an allen vier Standorten lassen sich jedoch erste Ergebnisse ableiten.

## 2 Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten über einen Zeitraum von zwei Jahren in acht Büroräumen von vier unterschiedlich gelegenen Bürogebäuden in Nordrhein-Westfalen, in denen es keine Beschwerden über eine unzureichende Raumluftqualität gab. Die Größe der Städte und Lage der Gebäude sind **Tabelle 1** zu entnehmen, die Größenabmessungen der Büroräume und Belegungsstärken der **Tabelle 2**. Alle Räume waren mit Teppichboden ausgestattet.

Insgesamt wurden 96 Proben genommen. Um eine Kontamination durch eingetragenen Staub zu vermeiden und sicherzustellen, dass der abgelagerte Staub ursprünglich luftgetragen war, wurden als Staubsammelfläche höher gelegene Flächen in den Büroräumen ausgesucht. In der Regel waren es die Oberflächen der Deckenplatten von Büroschränken oder Regalflächen, die vor Beginn der Staubsammlung intensiv feucht gereinigt wurden. Die Sammelflächen befanden sich in einer Höhe von 1,9 bis 2,25 m über dem Fußboden. Die Sammeldauer betrug jeweils zwei Monate. In jedem Büroraum wurden sechs Proben pro Jahr genommen. Nach der Sammelzeit saugte man die Oberflächen mittels eines Industriestaubsaugers der Fa. Kärcher, Typ 2701, mit einer Luftmenge von 68 l/s ab. Die Abscheidung des Staubes erfolgte auf einem Gelatinefilter mit einem Durchmesser von 50 mm in einem Filterhalter der Fa. Sartorius. Die Ansaugöffnung hatte einen Durchmesser von 7 mm. Durch die strömungsgünstige Formgebung war eine gleichmäßige Mikroorganismen- und Partikelbelegung gegeben. Das Stützsieb des Filters wurde vor der Probenahme im Heißluftsterilisator für vier Stunden bei 180 °C sterilisiert, der Filterhalter mit 70%igem Ethanol desinfiziert.

Zusätzlich zur Staubprobenahme erfolgten nach einem Monat jeweils zur Mitte der zweimonatigen Staubsammelphase Luftprobenahmen in den jeweiligen Büroräumen. Die Räume wurden durch das Hauspersonal am Nachmittag des Tages vor der Messung gründlich gelüftet. Danach blieben die Fenster und Türen geschlossen. Die Probenahme erfolgte mithilfe eines Impaktors MAS-100 NT. Dieser war auf einem Stativ in der Mitte des Raumes in einer Höhe von 1,3 bis 1,5 m positioniert. Der Luftdurchsatz betrug 100 l/min. Die Probenahme dauerte jeweils eine Minute. Es wurden jeweils vier Proben genommen. Die Abscheidung des Staubes erfolgte jeweils einmal auf einem Dichloran-Glycerol 18 %-Agar (DG-18-Agar) und einem Malzextrakt-Agar (MEA) in einer Petrischale mit einem Durchmesser von 90 mm. Die Mittelwertbildung wurden als Median aus den jeweiligen vier Proben bestimmt. Die Analytik der Staub- und Luftproben erfolgte im BMA-Labor in Bochum. Routinemäßig wurden 105 direkt auf den Nährböden bestimmbare Schimmelpilzspezies und -gattungen differenziert. Die Auswertungsmethode entsprach dem abgestimmten Arbeitsergebnis „Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement“ des Arbeitskreises „Qualitätssicherung – Schimmelpilze im Innenraum“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (LGA BW) [3] sowie der Methode des 4. Ringversuchs „Differenzierung von innenraumrelevanten Schimmelpilzen“ des LGA BW [4]. Der Staub der Saugproben wurde einschließlich der Filter mit jeweils dem 100-Fachen seines Gewichts mit einer NaCl/Tween-Lösung (0,9%/0,01%) versetzt und 30 min bei 35 °C auf einem 2D-Schüttler in dem Gefäß geschüttelt, das zuvor zur Probengewinnung mit dem Filter ausgewogen wird. Staubmengen unter 100 mg wurden in 10 ml Flüssigkeit suspendiert. Von der erhal-

**Tabelle 1.** Lage der Bürogebäude.

| Standort | Größe der Stadt       | Lage                              |
|----------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1        | ca. 300 000 Einwohner | Stadttrand, ländliches Gebiet     |
| 2        | ca. 100 000 Einwohner | Stadtzentrum, ländliches Gebiet   |
| 3        | ca. 590 000 Einwohner | Stadtzentrum, Ballungsgebiet      |
| 4        | ca. 610 000 Einwohner | Nähe Stadtzentrum, Ballungsgebiet |

**Tabelle 2.** Größe, Belegung und Fußbodenreinigung der Büroräume.

| Standort | Grundfläche in m <sup>2</sup> | Raumvolumen in m <sup>3</sup> | Raumhöhe in m | Belegung | Teppichbodenreinigung mindestens |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------|----------------------------------|
| 1        | 29                            | 81                            | 2,8           | Einzel   | Zweimal pro Woche                |
| 1        | 30                            | 81                            | 2,7           | Doppel   | Zweimal pro Woche                |
| 2        | 17                            | 43                            | 2,5           | Einzel   | Zweimal pro Woche                |
| 2        | 25                            | 60                            | 2,4           | Doppel   | Zweimal pro Woche                |
| 3        | 25                            | 65                            | 2,6           | Einzel   | Zweimal pro Woche                |
| 3        | 21                            | 53                            | 2,5           | Einzel   | Zweimal pro Woche                |
| 4        | 15                            | 44                            | 2,9           | Einzel   | Zweimal pro Woche                |
| 4        | 23                            | 68                            | 2,9           | Einzel   | Zweimal pro Woche                |

tenen Suspension und weiteren Verdünnungsstufen dieser Suspension (1 : 10 und 1 : 100) wurden pro Verdünnungsstufe je 100 µl auf jeweils drei DG 18-Agarplatten und drei MEA-Platten zur Inkubation bei 25 ± 3 °C sowie pro Verdünnungsstufe auf weitere drei MEA-Platten zur Inkubation bei 37 ± 1 °C ausgespart. Zur Bestimmung der kultivierbaren Schimmelpilzeinheiten und zur Differenzierung der Schimmelpilzspezies erfolgte die Auszählung der Schimmelpilzkolonien zwischen dem zweiten und dem zehnten Inkubationstag.

Zur Bestimmung der Gesamtkoloniezahl (Kolonie bildende Einheiten Schimmelpilze, KBE) wurde in der Regel das Ergebnis der DG 18-Agarplatten verwendet. Schimmelpilze, die auf DG 18-Agar nicht kultiviert werden konnten, wurden auf MEA ausgewertet und zu der auf DG-18-Agar ermittelten KBE-Zahl zur Gesamt-KBE zusammengeführt. Für die Bestimmung der Gesamt-KBE wurden die Platten der Verdünnungsstufe mit Werten möglichst zwischen 10 und 100 KBE pro Platte ausgewertet.

Zur Quantifizierung der einzelnen Arten wurden alle Platten der Verdünnungsstufe ausgewertet, auf denen 1 bis 50 (in Ausnahmen bis 100) KBE dieser Spezies auszählbar waren. Die Ergebnisse der DG-18-Agarplatten gab man vollständig wieder, die der MEA-Platten nur für die Spezies, die auf DG-18-Agar nicht kultiviert werden konnten. Dieses erfolgte z. B. für die Arten *Stachybotrys chartarum* oder *Chaetomium* spp. sowie für die Ergebnisse der bei 37 °C kultivierten Agarplatten zur Differenzierung der thermophilen Schimmelpilze, z. B. *Aspergillus fumigatus*.

Die Differenzierung der Schimmelpilzspezies erfolgte aufgrund der Morphologie des makroskopischen und mikroskopischen Bildes anhand üblicher Differenzierungsschlüssel [3; 5 bis 7]. Es wurden die Schimmelpilzarten differenziert, deren Konzentration mindestens 1 000 KBE/g betrug; das heißt, die in der Ausgangssuspension von 1 g Staub pro 100 ml Suspension mit mindestens 1 KBE pro Agarplatte vertreten waren.

Zur Darstellung des Konzentrations- und Artenspektrums der Schimmelpilze im Staub wurden die Messdaten statistisch ausgewertet. Die Auswertung erfolgte mithilfe eines Excel-Programms.

Bestimmt wurden die Minimal- und Maximalwerte, die Mediane sowie die 90- und 95-Perzentilwerte. Die Medianwerte verdeutlichen dabei die mittlere Schimmelpilzkonzentration des gesammelten Staubes. Der 95-Perzentilwert dokumentiert eine vergleichsweise hohe Konzentration, wobei Ausreißer ausgeblendet werden.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Gesamtergebnisse

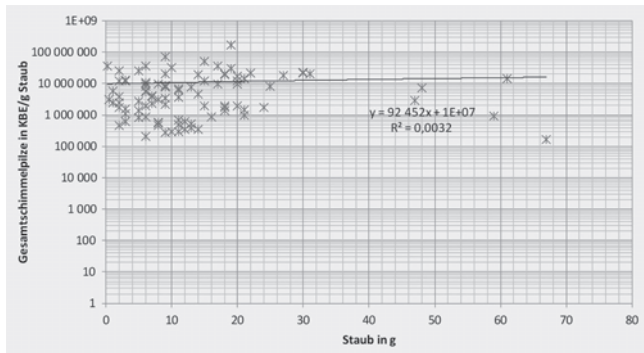
Tabelle 3 zeigt die Häufigkeit der Schimmelpilzarten sortiert nach Anzahl der Nachweise. Demnach wurden in dem gesammelten Staub 36 Schimmelpilzspezies und -gattungen von den 105 Routineauswertungen nachgewiesen. Dabei handelte es sich neben den Hefen um 25 konkret zu benennende Spezies, fünf undefinierte Spezies und vier Gattungen. Nicht identifizierbare Spezies wurden unter „andere Spezies“ subsumiert. Schimmelpilz-

ze der Gattungen *Cladosporium* und *Penicillium* wurden am häufigsten nachgewiesen. Die am häufigsten nachgewiesene Spezies war *Aspergillus fumigatus*, gefolgt von *Aspergillus niger*, *Aspergillus westerdijkiae* und/oder *Aspergillus ochraceus* und *Botrytis cinerea*. Ferner waren in 88 Proben festgestellte Spezies nicht identifizierbar („andere Spezies“). Nur 15 der ausgewerteten Spezies und Gattungen wurden inklusive der „anderen Spezies“ und der Hefen mehr als zehnmal nachgewiesen, fünf davon in mehr als 50 % der Proben. Nachgewiesene Pilzgattungen und -spezies mit hoher Indikation für Feuchteschäden [2; 8] sind in Tabelle 3 als Feuchtezeiger ausgewiesen. Insgesamt fanden sich demnach vier Spezies aus dieser Gruppe, davon nur *Aspergillus versicolor* mit 35 Nachweisen in größerer Anzahl, nur selten dagegen *Penicillium brevicompactum* (sechs Nachweise), *Penicillium chrysogenum* (vier Nachweise) und *Acremonium* spp. (zwei Nachweise). Hefen wurden nur in 25 % der Proben festgestellt.

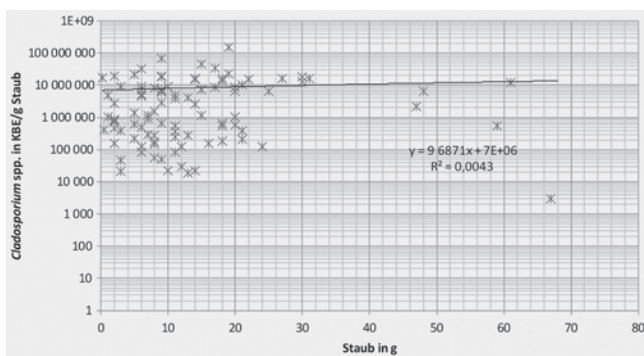
**Tabelle 3.** Nachgewiesene Schimmelpilze in KBE/g Staub nach Anzahl der Nachweise sortiert; Min = Minimalwert, Max = Maximalwert.

| Schimmelpilz   | n         | Min            | Min > BG       | Max                | ar. Mittelwert    | Median           | 95-Perzentil      |
|--|-----------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| <i>Cladosporium</i> spp. ▶   | 96        | 2 994          | 2 994          | 154 513 889        | 8 296 707         | 1 874 163        | 25 232 713        |
| <i>Penicillium</i> spp.  | 88        | 0              | 22 939         | 11 666 667         | 507 431           | 193 723          | 1 395 833         |
| andere Spezies   | 87        | 0              | 20 833         | 8 007 778          | 1 056 673         | 344 640          | 4 538 723         |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>   | 85        | 0              | 7 692          | 2 407 407          | 155 372           | 89 358           | 460 315           |
| <i>Aspergillus niger</i>   | 60        | 0              | 2 564          | 828 704            | 63 735            | 16 000           | 312 970           |
| <i>Aspergillus westerdijkiae</i> und/<br>oder <i>Aspergillus ochraceus</i> | 44        | 0              | 2 564          | 5 652 174          | 94 318            | 0                | 152 911           |
| <i>Botrytis cinerea</i> ▶  | 39        | 0              | 1 961          | 1 216 545          | 95 068            | 0                | 872 673           |
| <i>Eurotium</i> spp.   | 38        | 0              | 3 724          | 500 000            | 18 983            | 0                | 71 135            |
| <i>Aspergillus versicolor</i> ▲  | 35        | 0              | 5 291          | 3 666 667          | 125 097           | 0                | 324 265           |
| Hefen  | 24        | 0              | 2 083          | 9 570 957          | 236 031           | 0                | 244 382           |
| <i>Aureobasidium pullulans</i> ▶   | 22        | 0              | 5 556          | 8 250 825          | 149 979           | 0                | 366 753           |
| <i>Aspergillus flavus</i>  | 20        | 0              | 2 874          | 947 867            | 18 308            | 0                | 69 444            |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>   | 18        | 0              | 1 961          | 144 928            | 6 721             | 0                | 40 749            |
| <i>Trichoderma</i> sp. ▲   | 14        | 0              | 1 618          | 289 855            | 6 452             | 0                | 28 504            |
| <i>Aspergillus</i> spp.  | 11        | 0              | 998            | 22 222             | 1 058             | 0                | 8 193             |
| <i>Alternaria</i> sp. ▶  | 9         | 0              | 37 037         | 1 736 111          | 34 082            | 0                | 85 732            |
| <i>Penicillium brevicompactum</i> ▲  | 6         | 0              | 15 873         | 272 109            | 6 100             | 0                | 16 895            |
| <i>Penicillium</i> sp.   | 6         | 0              | 42 793         | 2 898 551          | 73 417            | 0                | 53 302            |
| <i>Penicillium olsonii</i>   | 5         | 0              | 44 025         | 10 256 410         | 123 654           | 0                | 11 006            |
| <i>Aspergillus sydowii</i>   | 4         | 0              | 7 246          | 376 812            | 4 498             | 0                | 0                 |
| <i>Penicillium chrysogenum</i> ▲   | 4         | 0              | 11 494         | 149 813            | 2 975             | 0                | 0                 |
| <i>Absidia corymbifera</i>   | 2         | 0              | 3 704          | 83 333             | 907               | 0                | 0                 |
| <i>Acremonium</i> sp. ▲  | 2         | 0              | 1 618          | 7 246              | 92                | 0                | 0                 |
| <i>Aspergillus</i> sp.   | 2         | 0              | 20 513         | 47 619             | 710               | 0                | 0                 |
| <i>Chrysonilia crassa</i>  | 2         | 0              | 17 857         | 52 083             | 729               | 0                | 0                 |
| <i>Penicillium digitatum</i>   | 2         | 0              | 11 111         | 39 216             | 524               | 0                | 0                 |
| <i>Rhizopus stolonifer</i>   | 2         | 0              | 3 333          | 5 747              | 95                | 0                | 0                 |
| <i>Wallemia sebi</i>   | 2         | 0              | 6 410          | 72 464             | 822               | 0                | 0                 |
| <i>Byssoscllamys nivea</i>   | 1         | 0              | 37 453         | 37 453             | 390               | 0                | 0                 |
| <i>Eurotium amstelodami</i>  | 1         | 0              | 9 470          | 9 470              | 99                | 0                | 0                 |
| <i>Mucor racemosus</i>   | 1         | 0              | 10 989         | 10 989             | 114               | 0                | 0                 |
| <i>Penicillium corylophilum</i>  | 1         | 0              | 172 414        | 172 414            | 1 796             | 0                | 0                 |
| <i>Penicillium purpurogenum</i>  | 1         | 0              | 73 171         | 73 171             | 762               | 0                | 0                 |
| <i>Penicillium variabile</i>   | 1         | 0              | 188 034        | 188 034            | 1 959             | 0                | 0                 |
| <i>Trichothecium roseum</i>  | 1         | 0              | 2 451          | 2 451              | 26                | 0                | 0                 |
| <i>Penicillium camemberti</i> /<br><i>nalgiovense</i>                      | 1         | 0              | 130 354        | 130 354            | 1 358             | 0                | 0                 |
| <b>Gesamt-KBE</b>  | <b>96</b> | <b>169 660</b> | <b>169 660</b> | <b>171 875 000</b> | <b>11 081 806</b> | <b>3 970 411</b> | <b>36 316 406</b> |
| <b>Außenluftpilze</b>  | <b>96</b> | <b>2 994</b>   | <b>2 994</b>   | <b>157 118 056</b> | <b>8 575 836</b>  | <b>2 077 816</b> | <b>26 122 285</b> |
| <b>Gesamt-KBE – Außenluftpilze</b>   | <b>96</b> | <b>126 984</b> | <b>126 984</b> | <b>19 166 668</b>  | <b>2 505 970</b>  | <b>1 347 868</b> | <b>9 160 870</b>  |

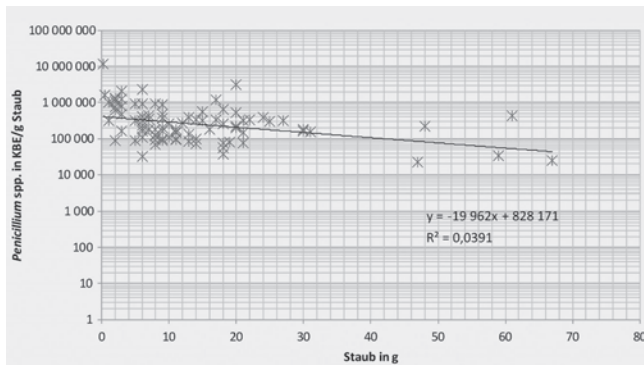
▲ = Feuchtezeiger. ▶ = Pilze mit hohem Außenluftanteil. BG = Bestimmungsgrenze.



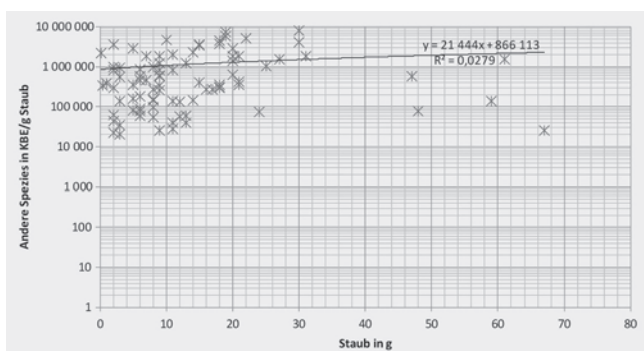
**Bild 1.** Gesamtschimmelpilze in Abhängigkeit vom gesammelten Staub.  
Quelle: Autoren



**Bild 2.** *Cladosporium* spp. in Abhängigkeit vom gesammelten Staub.  
Quelle: Autoren



**Bild 3.** *Penicillium* spp. in Abhängigkeit vom gesammelten Staub.  
Quelle: Autoren



**Bild 4.** „Andere Spezies“ in Abhängigkeit vom gesammelten Staub.  
Quelle: Autoren

Acht der zehn am häufigsten nachgewiesenen Spezies und Gattungen befanden sich auch unter den zehn höchsten nach der Rangfolge der 95-Perzentilwerte. Die höchsten 95-Perzentilwerte fanden sich für die Gattungen *Cladosporium* und *Penicillium* sowie für die Gruppe „andere Spezies“. Höchste 95-Perzentilwerte für einzelne Spezies wurden für *Botrytis cinerea*, *Aspergillus fumigatus*, *Aureobasidium pullulans* sowie für *Aspergillus versicolor* und *Aspergillus niger* ermittelt.

Insgesamt war das ermittelte Schimmelpilzspektrum stark von den Gattungen und Spezies geprägt, die insbesondere in der Außenluft auftreten. Neben der Gattung *Cladosporium* sind dies die Spezies *Botrytis cinerea*, *Aureobasidium pullulans* sowie *Alternaria* spp. *Cladosporium* spp. wurde in jeder Probe festgestellt, *Botrytis cinerea* 39-mal, davon 21-mal in den Monaten Mai bis Oktober, *Aureobasidium pullulans* 22-mal, davon 20-mal in den genannten Monaten sowie *Alternaria* sp. neunmal nur in diesen Monaten.

Die der Auswertung zugrundeliegenden Staubmengen waren zum Teil gering. In 90 % der Probenahmen betrug die Staubmenge mindestens 2 g, bei einem Medianwert von 10 g und einem 95-Perzentilwert von 35 g.

Dennoch sind auch bei geringer Staubmenge keine größeren Unterschiede zu denen bei größerer Staubmenge erkennbar (**Bild 1**). Gleiches gilt auch für die am meisten nachgewiesenen Gattungen und Spezies, also für *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp., für die nachgewiesenen *Aspergillus*-Spezies und „andere Spezies“ (**Bilder 2 bis 4**).

In **Tabelle 4** sind die auf die Sammelintervalle bezogene Verteilung der gesammelten Staubmengen und die daraus resultierenden Bestimmungsgrenzen dargestellt. In den Monaten Mai bis August waren die Staubmengen somit tendenziell höher als in den anderen Monaten.

### 3.2 Ergebnisse der Zwei-Monats-Auswertungen

Zusätzlich zur Gesamtauswertung wurden die Schimmelpilzkonzentrationen auch in Zwei-Monats-Intervallen ausgewertet. Stichtag für die Zuordnung zu einem Zwei-Monats-Intervall war dabei der Zeitpunkt der halben Probenahmezeit, also ein Monat nach der Säuberung der Sammelfläche. Die **Bilder 5 bis 9** zeigen die Zwei-Monats-Auswertungen für die Konzentration der fünf am häufigsten gefundenen Schimmelpilzgattungen und -spezies inklusive der nicht identifizierten Spezies („andere Spezies“).

Die jahreszeitliche Abhängigkeit der Ergebnisse ist bei den Schimmelpilzen der Gattung *Cladosporium* besonders ausgeprägt. Die Medianwerte unterschieden sich zwischen den Wintermonaten Januar/Februar und Sommermonaten Juli/August um den Faktor 100, wobei sie in den Wintermonaten in einer Größenordnung von  $10^5$  KBE/g sowie in den Sommermonaten bei  $10^6$  und  $10^7$  KBE/g Staub lagen. Die 95-Perzentilwerte erreichten annähernd die Größenordnung von  $10^8$  KBE/g. Auch die nicht identifizierbaren Spezies („andere Spezies“) hatten eine deutliche jahreszeitliche Tendenz. Die Medianwerte unterschieden sich hier zwischen den Wintermonaten Januar/Februar und den Sommermonaten Juli/August um den Faktor 40, wobei sie in den Wintermonaten in den Größenordnungen von  $10^4$  bis  $10^5$  KBE/g Staub und in den Sommermonaten in den Größenordnungen  $10^5$  bis  $10^6$  KBE/g Staub lagen.

Die anderen Gattungen und Spezies zeigten einen gleichmäßigeren Verlauf über das Jahr. Der Medianwert für *Penicillium* spp. lag in der Größenordnung  $10^5$  KBE/g, der für *Aspergillus fumigatus* zwischen  $10^4$  KBE/g und  $10^5$  KBE/g und für *Aspergillus niger*

Tabelle 4. Gesammelte Staubmengen und resultierende Bestimmungsgrenzen, sortiert nach Monaten.

| Monate                | n  | Staubmenge in g           |        |             |              |             |
|-----------------------|----|---------------------------|--------|-------------|--------------|-------------|
|                       |    | Arithmetischer Mittelwert | Median | Minimalwert | 95-Perzentil | Maximalwert |
| Januar bis Februar    | 16 | 13,6                      | 10,0   | 0,4         | 34,8         | 67,0        |
| März bis April        | 16 | 12,7                      | 7,0    | 1,0         | 30,5         | 59,0        |
| Mai bis Juni          | 16 | 13,6                      | 11,0   | 1,0         | 35,0         | 47,0        |
| Juli bis August       | 16 | 20,1                      | 16,0   | 5,0         | 51,3         | 61,0        |
| September bis Oktober | 16 | 10,9                      | 8,5    | 2,0         | 22,5         | 30,0        |
| November bis Dezember | 16 | 8,8                       | 9,0    | 0,2         | 16,5         | 18,0        |

| Monate                | n  | Bestimmungsgrenze in KBE/g |        |             |              |             |
|-----------------------|----|----------------------------|--------|-------------|--------------|-------------|
|                       |    | Arithmetischer Mittelwert  | Median | Minimalwert | 95-Perzentil | Maximalwert |
| Januar bis Februar    | 16 | 9 839                      | 3 623  | 499         | 35 145       | 83 333      |
| März bis April        | 16 | 7 713                      | 4 721  | 567         | 24 884       | 37 037      |
| Mai bis Juni          | 16 | 9 839                      | 3 031  | 717         | 15 953       | 23 812      |
| Juli bis August       | 16 | 2 451                      | 2 099  | 547         | 4 514        | 6 944       |
| September bis Oktober | 16 | 5 321                      | 3 902  | 1 111       | 15 037       | 16 667      |
| November bis Dezember | 16 | 16 279                     | 3 725  | 1 842       | 58 333       | 166 667     |

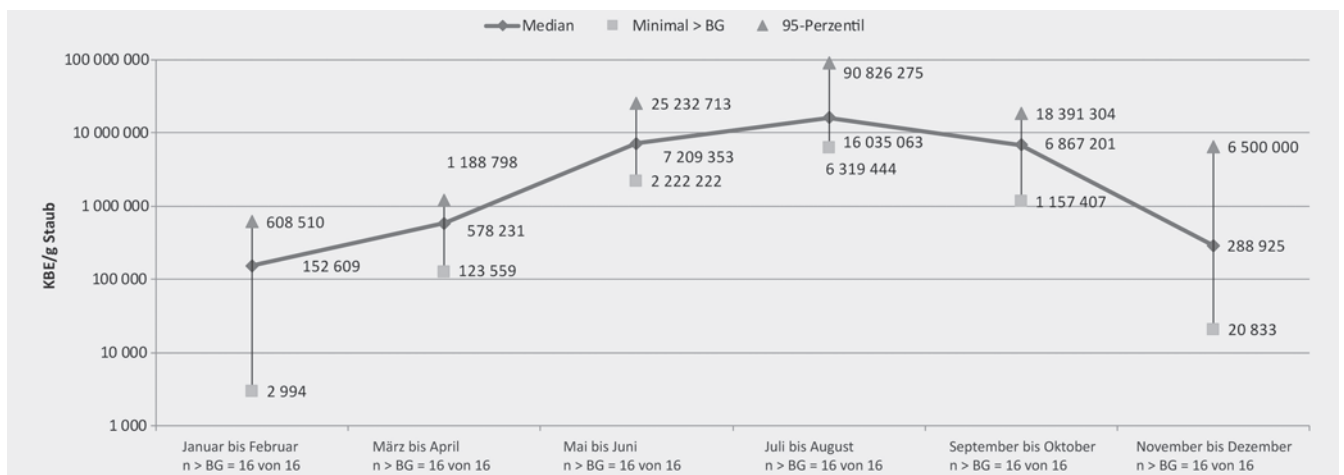


Bild 5. Konzentrationsverlauf in Zwei-Monats-Intervallen für *Cladoposporium* spp.

Quelle: Autoren

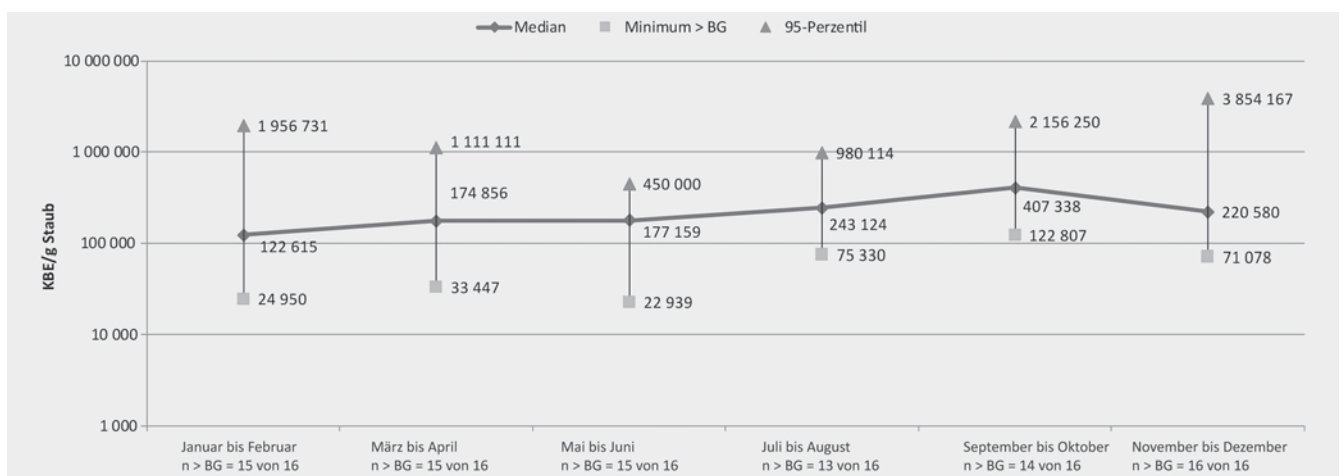


Bild 6. Konzentrationsverlauf in Zwei-Monats-Intervallen für *Penicillium* spp.

Quelle: Autoren

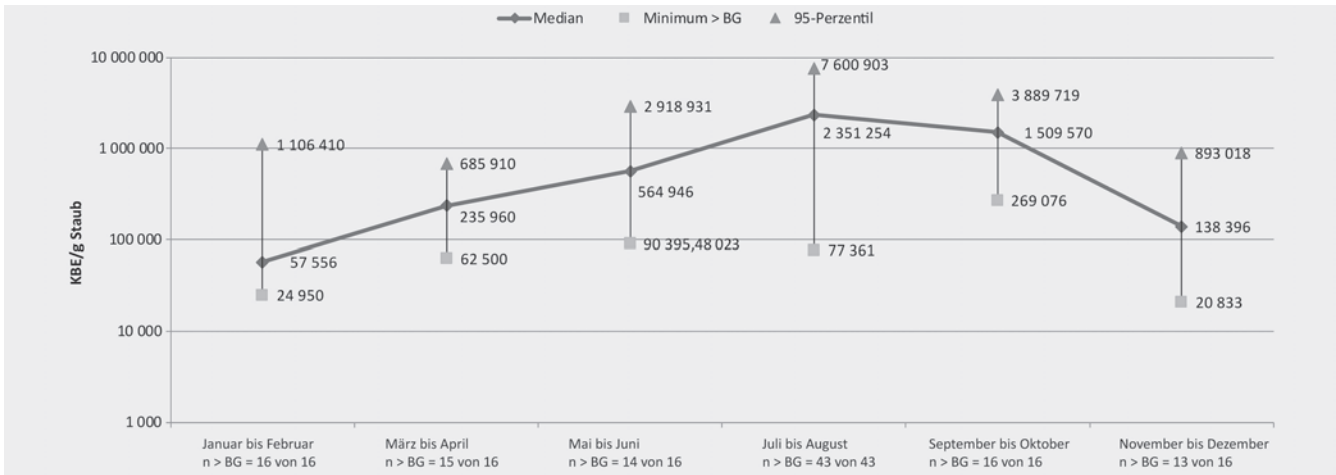


Bild 7. Konzentrationsverlauf in Zwei-Monats-Intervallen für „andere Spezies“

Quelle: Autoren

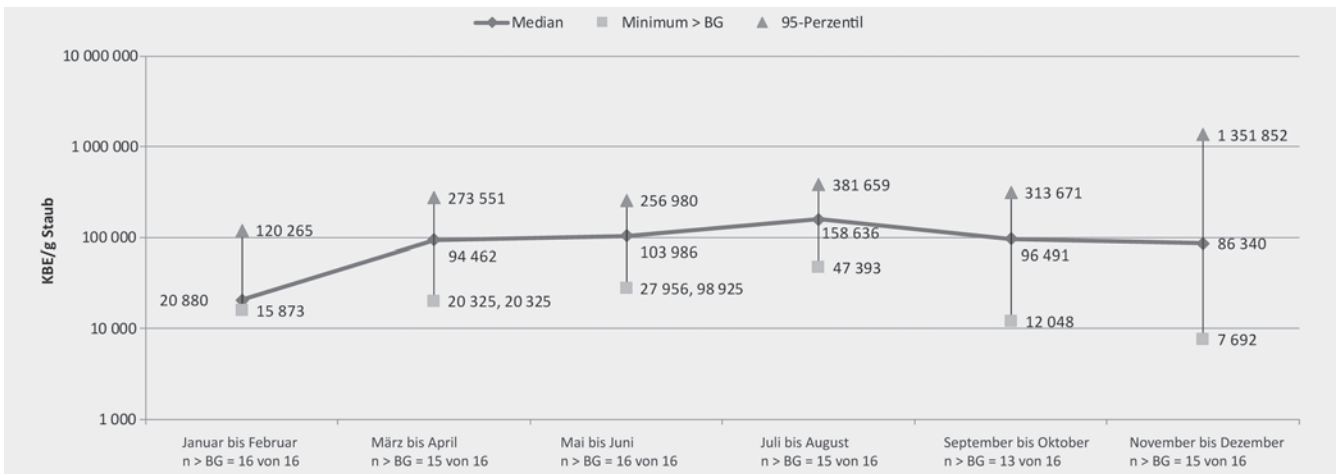


Bild 8. Konzentrationsverlauf in Zwei-Monats-Intervallen für *Aspergillus fumigatus*.

Quelle: Autoren

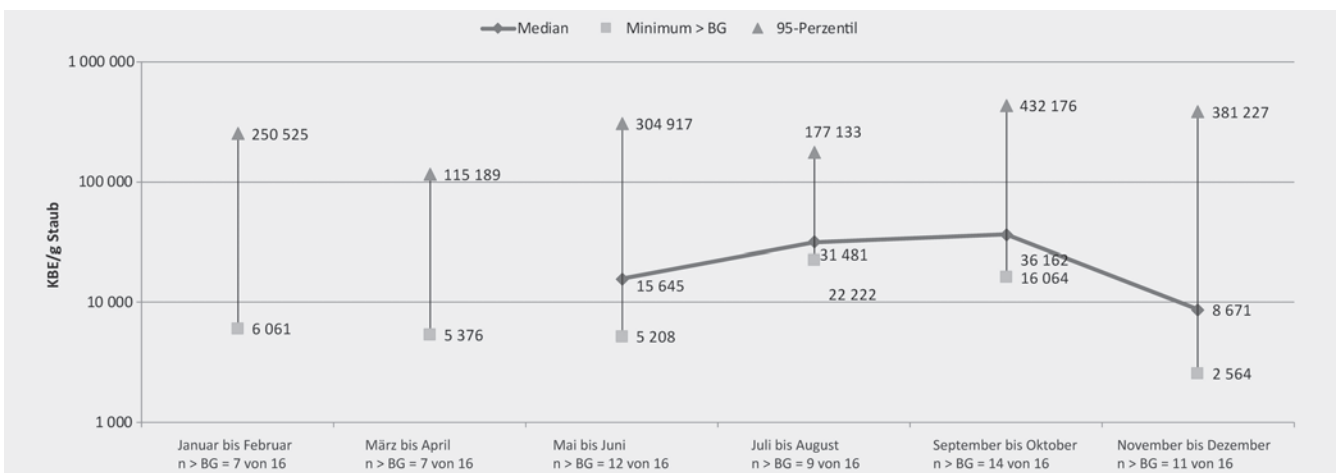


Bild 9. Konzentrationsverlauf in Zwei-Monats-Intervallen für *Aspergillus niger*.

Quelle: Autoren

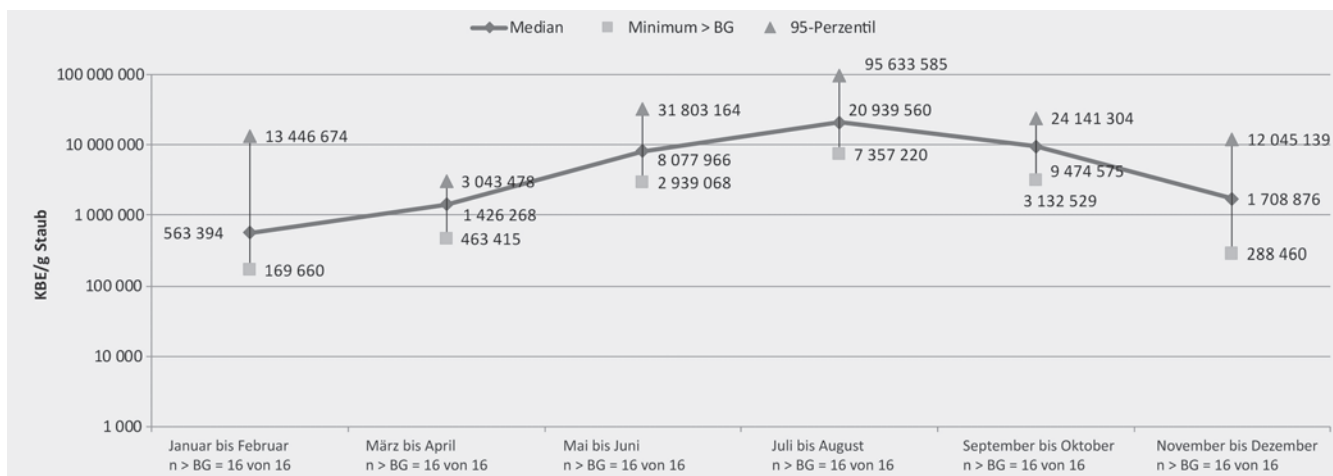


Bild 10. Konzentrationsverlauf in Zwei-Monats-Intervallen für Gesamtschimmelpilze.

Quelle: Autoren

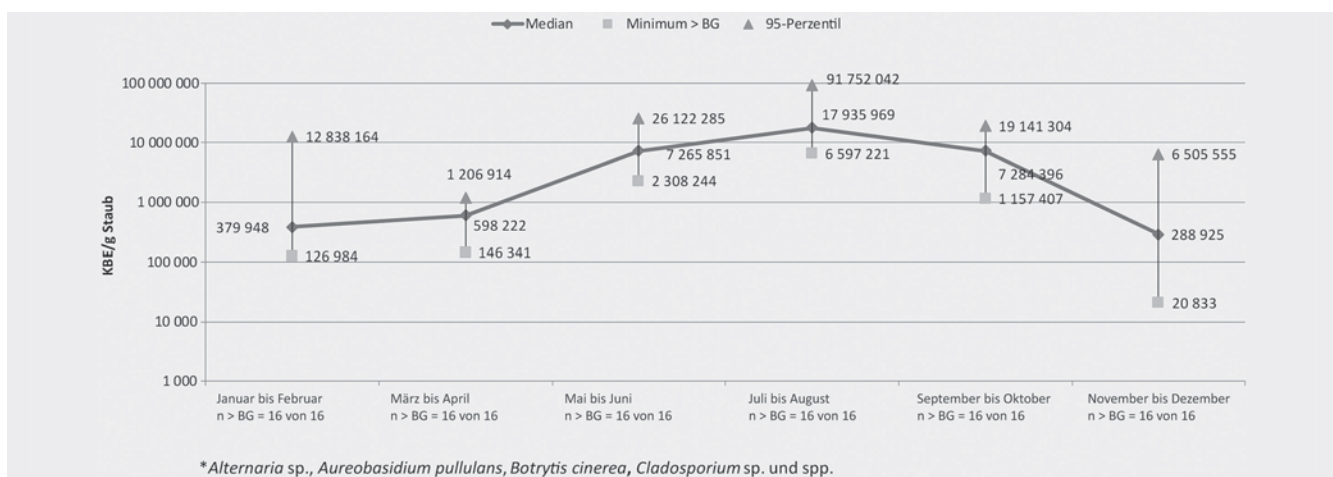


Bild 11. Konzentrationsverlauf in Zwei-Monats-Intervallen für Außenluftpilze.\*

Quelle: Autoren

im Bereich  $10^4$  KBE/g, wobei die Medianwerte hier in den Monaten Januar bis April unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Analog zur Konzentration der Gattung *Cladosporium* verhielt sich auch der Jahresgang der Gesamtschimmelpilzkonzentration, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei den Cladosporien (Bild 10). Im Median lagen die Konzentrationen in der Größenordnung  $10^5$  bis  $10^6$  KBE/g und als 95-Perzentilwert in fünf Monatsintervallen in der Größenordnung  $10^7$  KBE/g. Der Jahresgang der Summe der Außenluftschimmelpilze ist in Bild 11 dargestellt. So war die Konzentration der Außenluftschimmelpilze in den Sommermonaten, analog zu den Cladosporien, im Vergleich zum Winter als Median ein bis zwei Größenordnungen höher, was sich auch auf den Verlauf der Gesamtschimmelpilzkonzentration auswirkte.

Für die Gesamtschimmelpilze, reduziert um die Außenluftschimmelpilze, ergibt sich ein gleichmäßigerer Verlauf für die Restkonzentration (Bild 12). Die Medianwerte waren in den Sommermonaten nunmehr um etwa den Faktor fünf niedriger als die der Gesamtschimmelpilze. Allerdings zeigte sich auch hier noch ein Anstieg im Sommer, was auf die sogenannten „anderen Spezies“ zurückzuführen sein dürfte, die offensichtlich im Sommer zum Teil auch in höherer Konzentration auftraten.

### 3.3 Vergleich der Ergebnisse der vier Standorte

In Tabelle 5 ist die Auswertung der Summenwerte von Schimmelpilzkonzentrationen für die vier Standorte der Bürogebäude dargestellt. Der höchste Medianwert für die Gesamtschimmelpilzkonzentration ergab sich am Standort 3 im Zentrum einer Großstadt, die geringste am Standort 2 im Zentrum einer Mittelstadt in ländlich geprägtem Umfeld. Die Messwerte der Außenluftpilze für den Standort 1 am Stadtrand einer Großstadt im ländlichen Bereich waren um ein Vielfaches höher als an den anderen Standorten. Es folgte Standort 2, wie bei den Gesamtschimmelpilzen. Die Unterschiede für die beiden Großstädte in den Ballungsgebieten waren nur gering.

Die um die Außenluftpilzkonzentration reduzierten Gesamtschimmelpilzkonzentrationen differierten dagegen insbesondere als Medianwert an allen Standorten wesentlich weniger. Die geringste Konzentration war hierfür am Standort 2 zu verzeichnen, wo allerdings auch die Gesamtschimmelpilzkonzentration als Medianwert am geringsten war.

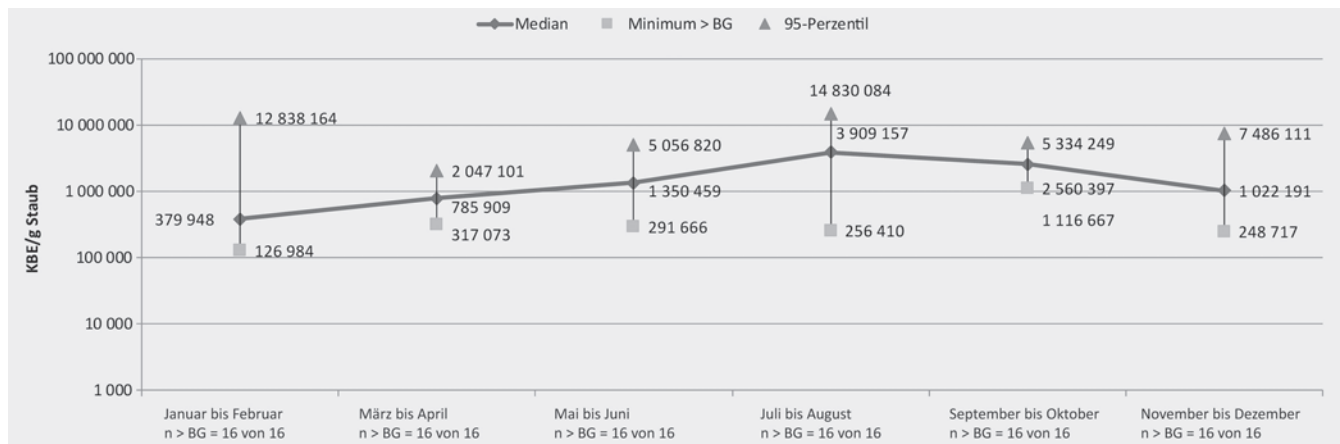


Bild 12. Konzentrationsverlauf in Zwei-Monats-Intervallen für Gesamtschimmelpilze ohne Außenluftpilze.

Quelle: Autoren

Tabelle 5. Ermittelte Gesamtschimmelpilze und Außenluftpilze in den Räumen an den vier Standorten; Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, BG = Bestimmungsgrenze.

| Standort | Schimmelpilzkonzentrationen in KBE/g Staub | n  | Min     | Min > BG | Max         | Arithmetischer Mittelwert | Median    | 95-Perzentil |
|----------|--|----|---------|----------|-------------|---------------------------|-----------|--------------|
| 1        | Gesamt-KBE                                 | 24 | 211 640 | 211 640  | 171 875 000 | 18 379 732                | 5 629 630 | 49 020 861   |
|          | Außenluftpilze                             | 24 | 84 656  | 84 656   | 157 118 056 | 15 119 071                | 4 800 000 | 44 849 606   |
|          | Gesamt-KBE ohne Außenluftpilze             | 24 | 126 984 | 126 984  | 19 166 667  | 3 260 661                 | 1 455 556 | 13 790 069   |
| 2        | Gesamt-KBE                                 | 24 | 169 661 | 169 661  | 70 260 173  | 8 787 503                 | 2 918 468 | 35 312 753   |
|          | Außenluftpilze                             | 24 | 2 994   | 2 994    | 69 963 370  | 7 650 359                 | 1 954 730 | 33 283 838   |
|          | Gesamt-KBE ohne Außenluftpilze             | 24 | 166 667 | 166 667  | 4 466 231   | 1 137 144                 | 630 493   | 4 051 389    |
| 3        | Gesamt-KBE                                 | 24 | 296 970 | 296 970  | 21 461 187  | 8 433 978                 | 5 955 606 | 20 660 922   |
|          | Außenluftpilze                             | 24 | 81 818  | 81 818   | 15 989 011  | 5 584 470                 | 1 790 147 | 15 824 498   |
|          | Gesamt-KBE ohne Außenluftpilze             | 24 | 215 152 | 215 152  | 16 222 222  | 2 849 508                 | 1 841 550 | 5 701 553    |
| 4        | Gesamt-KBE                                 | 24 | 288 460 | 288 460  | 32 673 267  | 8 737 248                 | 3 841 323 | 28 903 145   |
|          | Außenluftpilze                             | 24 | 18 229  | 18 229   | 24 326 241  | 5 949 443                 | 1 303 342 | 19 332 464   |
|          | Gesamt-KBE ohne Außenluftpilze             | 24 | 262 819 | 262 819  | 15 049 505  | 2 787 804                 | 1 475 975 | 10 852 559   |

### 3.4 Vergleich der Ergebnisse unter dem Aspekt von Topfpflanzen in den Büroräumen

In den Bildern 13 bis 18 sind die Staubmengen sowie die Konzentrationen der Gesamtschimmelpilze, der Gattung *Penicillium* und der in den Büroräumen häufig nachgewiesenen *Aspergillus*-Spezies dargestellt. Die Zahl der Topfpflanzen in den Räumen wurde zu diesem Zweck in zwei Gruppen eingeteilt. Als geringere Anzahl wurden bis zu drei Blumentöpfe im Raum angesehen, ab vier Blumentöpfen wurde die Anzahl als höher eingestuft. Maximal standen neun Blumentöpfe im Raum. In den drei Räumen mit bis zu drei Blumentöpfen wurden 36 Proben genommen, in den fünf Räumen mit mehr Blumentöpfen 60 Proben.

Wie Bild 13 zeigt, war die gesammelte Staubmenge in den Räumen mit geringerem Topfblumenbestand im Mittel und Median etwa halb so groß wie in den anderen Räumen, was allerdings auch auf das Lüftungsverhalten zurückzuführen sein könnte. Die Gesamtschimmelpilzkonzentrationen unterschieden sich dagegen nur unwesentlich (Bild 14). Auch bei der Gattung *Penicillium* und den Spezies *Aspergillus fumigatus* sowie *Aspergillus niger* unterschieden sich die dargestellten Mittel- und Perzentilwerte maximal um den Faktor zwei (Bilder 15 bis 17). Für *Aspergillus westerdijkiae* und/oder *Aspergillus ochraceus* war dagegen ein deutlicher Unterschied zwischen Räumen mit geringerem und höherem Blumentopfbestand zu verzeichnen (Bild 18). Im Mittel war die Konzentration hier 20-mal höher und als Median mehr als sechsmal höher.

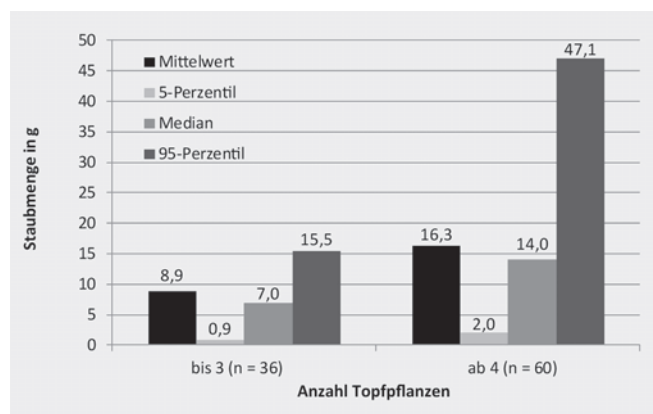
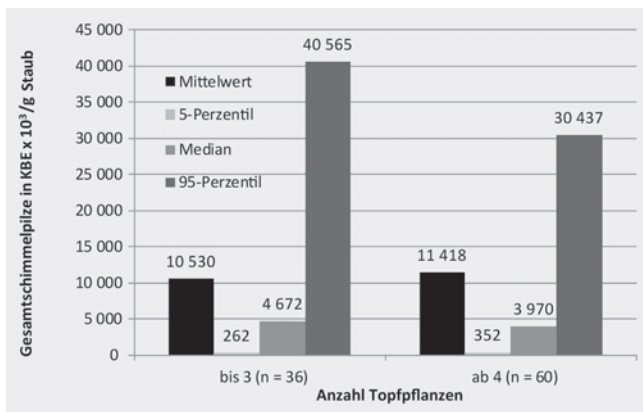


Bild 13. Gesammelte Staubmengen in Abhängigkeit von der Zahl der Topfpflanzen.

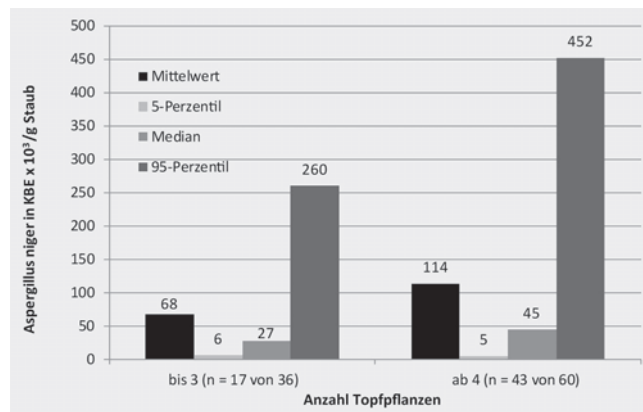
Quelle: Autoren

### 3.5 Vergleich der Ergebnisse unter dem Aspekt der Höhe der Sammelfläche

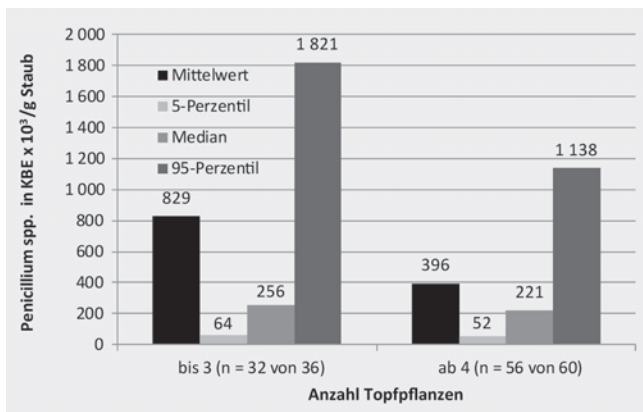
Die Proben in den Büroräumen wurden auf den dort vorhandenen Schränken genommen, sodass keine einheitliche Probenahmehöhe realisiert werden konnte. Die Schrankhöhen lagen zwischen 1,95 und 2,25 m. Daher wurde überprüft, ob die unterschiedlichen Höhen einen Einfluss auf die Ergebnisse hatten.



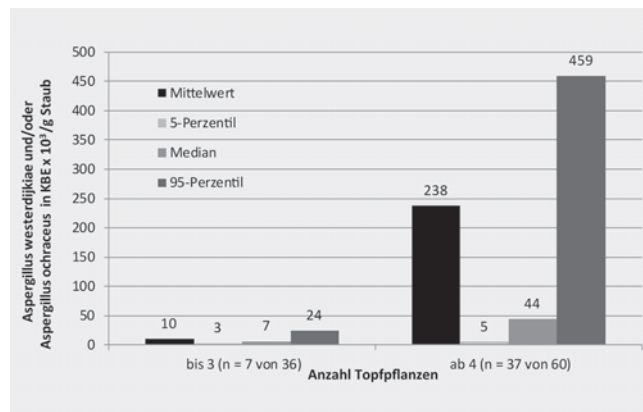
**Bild 14.** Gesamtschimmelpilze in Abhängigkeit von der Zahl der Topfpflanzen. *Quelle: Autoren*



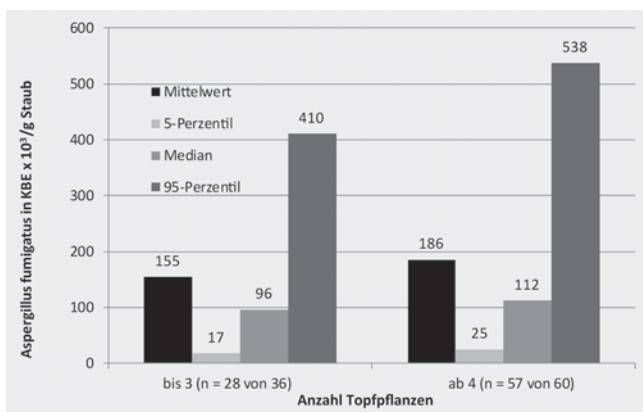
**Bild 17.** *Aspergillus niger* in Abhängigkeit von der Zahl der Topfpflanzen. *Quelle: Autoren*



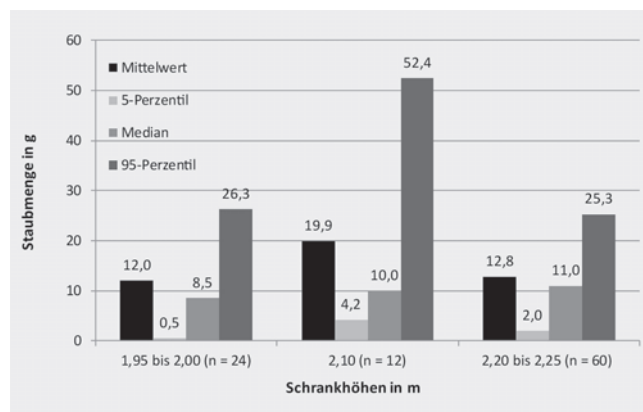
**Bild 15.** *Penicillium* spp. in Abhängigkeit von der Zahl der Topfpflanzen. *Quelle: Autoren*



**Bild 18.** *Aspergillus westerdijkiae* und/oder *Aspergillus ochraceus* in Abhängigkeit von der Zahl der Topfpflanzen. *Quelle: Autoren*



**Bild 16.** *Aspergillus fumigatus* in Abhängigkeit von der Zahl der Topfpflanzen. *Quelle: Autoren*



**Bild 19.** Gesammelte Staubmengen in Abhängigkeit von der Schrankhöhe. *Quelle: Autoren*

**Bild 19** zeigt, dass sich die Ergebnisse für die gesammelte Staubmenge in den beiden Büros mit Schrankhöhen bis 2 m kaum von den Ergebnissen bei höheren Schränken unterschieden. Die Staubmengen lagen als Medianwert alle im Bereich um 10 g. Auch die Konzentrationen der Gesamtschimmelpilze und von *Cladosporium* spp. variierten im Mittel und als Median nur um den Faktor zwei (**Bilder 20** und **21**). Ein gravierender Unterschied mit Blick auf die Höhe der Sammelflächen war nicht feststellbar.

### 3.6 Stichprobenhafter Vergleich von Luft- und Staubproben

Die **Tabellen 6** bis **9** zeigen die Ergebnisse für jeweils eine Stichprobe der Luftproben im Sommer- und Winterhalbjahr im Vergleich zu den Zwei-Monats-Staubproben in den jeweiligen Büroräumen an allen vier Standorten. Demnach lagen die dort gesammelten Staubmengen im Winterhalbjahr in einem Bereich zwischen 1 und 6 g und im Sommerhalbjahr zwischen 9 und

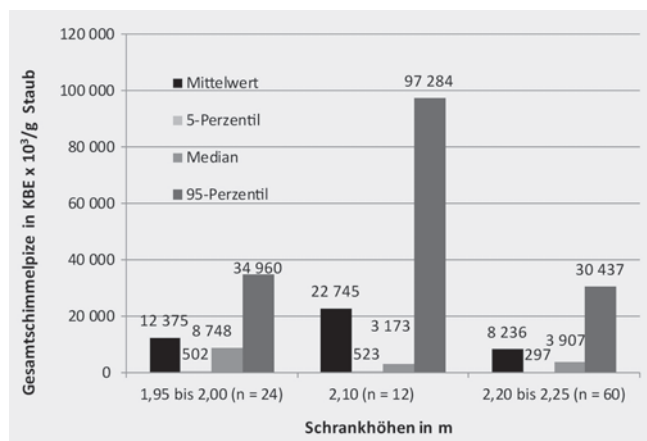


Bild 20. Gesamtschimmelpilze in Abhängigkeit von der Schrankhöhe.

Quelle: Autoren

61 g. Sie waren somit im Winterhalbjahr deutlich niedriger als im Sommerhalbjahr, wie auch bereits in Abschn. 3.1 erläutert. Gleiches gilt für die Konzentrationen der Gesamtschimmelpilze, die im Winter, verglichen mit dem Sommer, trotz hoher Bestimmungsgrenze um den Faktor 10 bis 100 niedriger ausfielen. Geprägt war die Gesamtschimmelpilzkonzentration in der Luft und im Sedimentationsstaub insbesondere durch Außenluftpilze der Gattung *Cladosporium*. Andere Außenluftpilze wie *Botrytis cinerea* oder *Aureobasidium pullulans* wurden in der Luft, anders als im Sedimentationsstaub, selten nachgewiesen. Häufigere Nachweise im Sedimentationsstaub und in der Luft waren für *Penicillium* spp. zu verzeichnen (siebenmal im Staub sowie achtmal in der Innen- und Außenluft). Die Konzentrationen in der Außenluft waren in der Regel größer als in der Innenraumluft, wobei sich die Luftkonzentrationen im Sommer im Vergleich zum Winter ca. um den Faktor zehn unterschieden. Am Standort 4 waren im Raum 2 (siehe Tabelle 9) die Konzentrationen für *Mycelia varia*, *Aspergillus niger* und die Hefen im Sommer für die Innenraumluft zum Teil leicht höher als in der Außenluft.

Im Gegensatz zum Sedimentationsstaub wurden einzelne Spezies in der Luft nur selten nachgewiesen. Häufiger gefunden wurden darin nach der Zahl der Proben nur *Aspergillus fumigatus* (siebenmal in Räumen, dreimal in der Außenluft) und *Aspergillus niger* (sechsmal in Räumen, viermal in der Außenluft).

Insgesamt lagen die Konzentrationen einzelner Spezies, wenn sie nachgewiesen wurden, im Bereich der Bestimmungsgrenze oder leicht darüber. Hinweise auf die Lage der Probenahmeorte oder die Ausstattung mit Topfpflanzen, wie in den Abschn. 3.3 und 3.4 erläutert, waren den Ergebnissen der Luftproben im Gegensatz zu den Sedimentationsstaubproben nicht zu entnehmen. Einzelne Spezies ließen sich im Sedimentationsstaub somit besser differenzieren als in der Luft. Die Luftmessungen waren im Sinne des Auswerteschemas des Umweltbundesamtes (UBA) alle unauffällig [8].

## 4 Diskussion

In [1; 2] wurden die Ergebnisse von Sedimentationsstaub in Klassenräumen vorgestellt, die nach der gleichen Methode wie hier beschrieben, gewonnen wurden. Die Diskussion der Ergebnisse in Büroräumen soll daher unter anderem mit Blick auf diese Ergebnisse erfolgen.

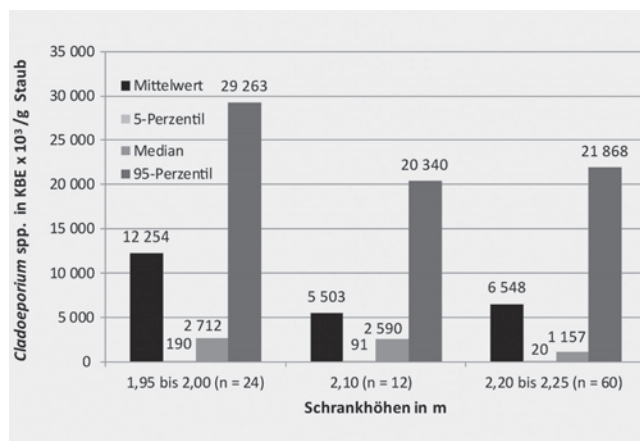


Bild 21. *Cladosporium* spp. in Abhängigkeit von der Schrankhöhe.

Quelle: Autoren

Im Vergleich zu den Klassenräumen wurden in Büros mit insgesamt 36 Arten und Gattungen halb so viele Schimmelpilzgattungen und -spezies im Staub wie in Schulen (70 Arten und Gattungen) nachgewiesen (Tabelle 10). Diese waren überwiegend durch die Außenluft geprägt und somit wohl durch Lüftung eingetragen, wie man insbesondere an der Gattung *Cladosporium* erkennt. Im Sommerhalbjahr findet man weitere Außenluftpilze im Staub, wie *Botrytis cinerea* und *Aureobasidium pullulans*. Die Ergebnisse in Büros sind insgesamt hinsichtlich der Gattungen und Spezies nicht auffällig. Insbesondere fehlen in der Regel Feuchtezeiger. Nur *Aspergillus versicolor* wurde mit der gleichen Häufigkeit wie in Klassenräumen gemessen. Diese Spezies kommt aber wohl häufiger auch ubiquitär vor. Andere Schimmelpilzspezies, die in Schulen häufiger auf Schimmelpilzbildung im Raum hinwiesen, z. B. aus der *Penicillium-aurantiogriseum*-Gruppe, wurden in Büros nicht oder selten nachgewiesen. Das ist nicht verwunderlich, da sämtliche Büroräume keine Besonderheiten aufwiesen. In Schulen waren dagegen neben Feuchteschäden häufig auch vergessene Lebensmittel in den Klassenräumen eine mögliche Ursache für den Nachweis von Schimmelpilzen im Raum.

Die Konzentrationen der Schimmelpilzgattungen und -spezies in den Büroräumen waren dagegen um ein Vielfaches höher als in den Klassenräumen. Dieses galt insbesondere für die Gattungen *Cladosporium*, *Penicillium*, „andere Spezies“ und *Aspergillus fumigatus*. Die Ergebnisse für *Cladosporium* spp. waren in Klassenräumen als Median fast 40-mal und als 95-Perzentilwert fast 20-mal höher, die für *Penicillium* spp. für beide Werte etwa zehnfach. Die Häufigkeit der Nachweise der genannten Gattungen und Spezies ist jedoch mit denen in Klassenräumen in etwa vergleichbar.

Häufiger nachgewiesen als in Klassenräumen wurden die Arten *Aspergillus niger*, *Aspergillus ochraceus* und/oder *Aspergillus westerdijkiae*, *Aspergillus flavus* sowie der Außenluftpilz *Botrytis cinerea*, deren Konzentration in Büros auch höher ausfielen als in Klassenräumen. Der Ursprung für die Aspergillen wird in der Ausstattung der Büros mit Topfpflanzen vermutet, der der Außenluftpilze in der Lüftung. So gehören z. B. die Räume an den Standorten 3 und 4 zur Kategorie mit größerem Topfpflanzenbestand (Tabellen 8 und 9).

Weniger Nachweise als in Klassenräumen finden sich in Büros dagegen für die Spezies *Penicillium brevicompactum*, *Penicillium chrysogenum*, Arten aus der *Penicillium-aurantiogriseum*-Gruppe sowie Hefen. Insbesondere die *Penicillium*-Spezies wurden in Schu-

**Tabelle 6.** Vergleich jeweils einer Staub- und Luftprobe im Winter- und Sommerhalbjahr am Standort 1; Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, Med = Median.

| Schimmelpilz                         | Winterintervall 2 |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
|--------------------------------------|-------------------|----------|-----------|------------|-----------|------------------|----------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|
|                                      | Raum 1            |          |           |            |           | Raum 2           |          |            |            |            | außen    |            |            |            |
|                                      | Staub             |          | Luft      |            |           | Staub            |          | Luft       |            |            | Luft     |            |            |            |
|                                      | n                 | Min      | Max       | Med        | n         | Min              | Max      | Med        | n          | Min        | Max      | Med        |            |            |
| <i>Mycelia sterilia</i>              | 2                 | 50       | 80        |            |           | 4                | 50       | 60         | 50         | 2          | 20       | 30         |            |            |
| <i>Mycelia varia/ andere Spezies</i> | 1                 | 20       |           |            | 62 500    | 3                | 20       | 50         |            | 4          | 10       | 150        | 55         |            |
| <i>Alternaria sp.</i>                |                   |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus flavus</i>            |                   |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>         | 222 222           | 2        | 10        | 10         | 125 000   | 2                | 10       | 30         |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus niger</i>             | 37 037            |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus ochraceus</i>         |                   |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus penicilloides</i>     |                   |          |           |            |           | 1                | 10       |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus sp.</i>               |                   |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus versicolor</i>        | 74 074            |          |           |            | 20 833    | 2                | 10       | 10         |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>       |                   |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Botrytis cinerea</i>              |                   |          |           |            | 20 833    |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>         |                   |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Cladosporium spp.</i>             | 1 037 037         | 1        | 20        |            | 812 500   | 3                | 10       | 60         |            | 3          | 30       | 40         |            |            |
| <i>Eurotium spp.</i>                 | 37 037            | 2        | 10        | 10         | 20 833    | 1                | 10       |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Penicillium brevicompactum</i>    |                   | 1        | 20        |            |           | 1                | 10       |            |            | 1          | 60       |            |            |            |
| <i>Penicillium chrysogenum</i>       |                   |          |           |            |           |                  |          |            |            | 2          | 50       | 90         |            |            |
| <i>Penicillium spp.</i>              | 1 037 037         | 3        | 10        | 30         | 625 000   | 1                | 10       |            |            | 4          | 40       | 110        | 60         |            |
| <i>Ulocladium sp.</i>                |                   | 1        | 10        |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Wallemia sebi</i>                 |                   |          |           |            |           | 1                | 10       |            |            | 1          | 10       |            |            |            |
| <i>Trichoderma sp.</i>               | 37 037            |          |           |            |           |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| Hefen                                |                   | 4        | 20        | 30         | 25        | 2                | 20       | 40         |            | 2          | 30       | 40         |            |            |
| <b>Gesamt-KBE</b>                    | <b>2 481 481</b>  | <b>4</b> | <b>60</b> | <b>100</b> | <b>70</b> | <b>1 687 500</b> | <b>4</b> | <b>110</b> | <b>140</b> | <b>125</b> | <b>4</b> | <b>110</b> | <b>300</b> | <b>265</b> |
| <b>Nachweisgrenze</b>                | <b>37 037</b>     |          |           |            |           | <b>20 833</b>    |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <b>Staubmenge in g</b>               | <b>1,0</b>        |          |           |            |           | <b>2,0</b>       |          |            |            |            |          |            |            |            |

| Schimmelpilz                         | Sommerintervall 4 |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
|--------------------------------------|-------------------|----------|------------|--------------|------------|--------------------|----------|--------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|
|                                      | Raum 1            |          |            |              |            | Raum 2             |          |              |              |              | außen    |              |              |              |
|                                      | Staub             |          | Luft       |              |            | Staub              |          | Luft         |              |              | Luft     |              |              |              |
|                                      | n                 | Min      | Max        | Med          | n          | Min                | Max      | Med          | n            | Min          | Max      | Med          |              |              |
| <i>Mycelia sterilia</i>              |                   | 2        | 10         | 10           |            | 3                  | 10       | 30           |              | 3            | 30       | 50           |              |              |
| <i>Mycelia varia/ andere Spezies</i> | 3 579 418         |          |            |              | 7 465 278  |                    |          |              |              | 1            | 30       |              |              |              |
| <i>Alternaria sp.</i>                | 671 141           |          |            |              | 1 736 111  |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus flavus</i>            | 67 114            |          |            |              | 69 444     |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>         | 268 456           |          |            |              | 243 056    |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus niger</i>             | 111 857           |          |            |              |            |                    |          |              |              | 1            | 10       |              |              |              |
| <i>Aspergillus ochraceus</i>         |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus penicilloides</i>     |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus sp.</i>               |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus versicolor</i>        |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>       | 223 714           |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Botrytis cinerea</i>              | 1 118 568         |          |            |              | 868 056    |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>         |                   |          |            |              | 34 722     |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Cladosporium spp.</i>             | 45 190 157        | 4        | 510        | 1 440        | 690        | 154 513 889        | 4        | 1 660        | 2 180        | 1 790        | 4        | 3 210        | 4 000        | 3 810        |
| <i>Eurotium spp.</i>                 |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Penicillium brevicompactum</i>    |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Penicillium chrysogenum</i>       |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Penicillium spp.</i>              |                   | 1        | 10         |              |            | 3                  | 10       | 20           |              | 4            | 10       | 40           | 15           |              |
| <i>Ulocladium sp.</i>                |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Wallemia sebi</i>                 |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Trichoderma sp.</i>               |                   |          |            |              |            |                    |          |              |              |              |          |              |              |              |
| Hefen                                |                   | 1        | 20         |              |            | 6 944 444          | 1        | 20           |              |              |          |              |              |              |
| <b>Gesamt-KBE</b>                    | <b>51 230 425</b> | <b>4</b> | <b>520</b> | <b>1 450</b> | <b>695</b> | <b>171 875 000</b> | <b>4</b> | <b>1 690</b> | <b>2 230</b> | <b>1 830</b> | <b>4</b> | <b>3 440</b> | <b>4 020</b> | <b>3 980</b> |
| <b>Nachweisgrenze</b>                | <b>2 237</b>      |          |            |              |            | <b>1 736</b>       |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <b>Staubmenge in g</b>               | <b>15,0</b>       |          |            |              |            | <b>19,0</b>        |          |              |              |              |          |              |              |              |

**Tabelle 7.** Vergleich jeweils einer Staub- und Luftprobe im Winter- und Sommerhalbjahr am Standort 2; Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, Med = Median.

| Schimmelpilz                         | Winterintervall 2 |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
|--------------------------------------|-------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------|----------|----------------|-----------|-----------|----------|------------|------------|------------|
|                                      | Raum 1            |          |           |           |           | Raum 2           |          |                |           |           | außen    |            |            |            |
|                                      | Staub             | Luft     |           |           |           | Staub            | Luft     |                |           |           | n        | Luft       |            |            |
|                                      |                   | n        | Min       | Max       | Med       |                  | n        | Min            | Max       | Med       |          | Min        | Max        | Med        |
| <i>Mycelia sterilia</i>              |                   |          |           |           |           | 3                | 10       | 40             |           | 4         | 10       | 60         | 20         |            |
| <i>Mycelia varia/ andere Spezies</i> | 77 778            |          |           |           |           | 137 255          |          |                |           | 2         | 30       | 50         |            |            |
| <i>Alternaria sp.</i>                |                   |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus flavus</i>            |                   |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>         |                   | 1        | 20        |           |           | 29 412           | 1        | 10             |           | 4         | 10       | 30         | 20         |            |
| <i>Aspergillus niger</i>             |                   |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus ochraceus</i>         | 22 222            |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus penicilloides</i>     |                   | 2        | 20        | 20        |           |                  | 2        | 10             | 10        |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus sp.</i>               |                   |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus versicolor</i>        |                   |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>       | 5 556             |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Botrytis cinerea</i>              |                   |          |           |           |           | 19 608           |          |                |           | 2         | 10       | 20         |            |            |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>         | 5 556             |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Cladosporium spp.</i>             | 477 778           | 4        | 10        | 30        | 25        | 392 157          | 3        | 10             | 20        | 4         | 330      | 410        | 355        |            |
| <i>Eurotium spp.</i>                 | 16 667            |          |           |           |           | 9 804            |          |                |           | 2         | 10       | 10         |            |            |
| <i>Penicillium digitatum</i>         | 11 111            |          |           |           |           | 39 216           |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Penicillium spp.</i>              | 238 889           |          |           |           |           | 470 588          | 1        | 10             |           | 3         | 10       | 40         |            |            |
| <i>Trichoderma sp.</i>               |                   |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <i>Wallemia sebi</i>                 |                   | 1        | 10        |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| Hefen                                |                   |          |           |           |           |                  |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <b>Gesamt-KBE</b>                    | <b>855 556</b>    | <b>4</b> | <b>10</b> | <b>60</b> | <b>35</b> | <b>1 098 039</b> | <b>4</b> | <b>&gt; 10</b> | <b>30</b> | <b>25</b> | <b>4</b> | <b>400</b> | <b>500</b> | <b>460</b> |
| <b>Nachweisgrenze</b>                | <b>5 556</b>      |          |           |           |           | <b>9 804</b>     |          |                |           |           |          |            |            |            |
| <b>Staubmenge in g</b>               | <b>6,0</b>        |          |           |           |           | <b>3,0</b>       |          |                |           |           |          |            |            |            |

| Schimmelpilz                         | Sommerintervall 4 |          |              |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
|--------------------------------------|-------------------|----------|--------------|--------------|--------------|-------------------|----------|------------|--------------|------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|------|
|                                      | Raum 1            |          |              |              |              | Raum 2            |          |            |              |            | außen    |                   |                   |                   |      |
|                                      | Staub             | Luft     |              |              |              | Staub             | Luft     |            |              |            | n        | Luft              |                   |                   |      |
|                                      |                   | n        | Min          | Max          | Med          |                   | n        | Min        | Max          | Med        |          | Min               | Max               | Med               |      |
| <i>Mycelia sterilia</i>              |                   | 2        | 10           | 10           |              |                   |          |            |              | 3          | > 20     | > 30              |                   |                   |      |
| <i>Mycelia varia/ andere Spezies</i> |                   | 3        | 10           | 50           |              |                   |          |            |              | 2          | 30       | 60                |                   |                   |      |
| <i>Alternaria sp.</i>                |                   |          |              |              |              | 366 300           |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Aspergillus flavus</i>            | 80 808            |          |              |              |              | 146 520           |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>         | 363 636           | 1        | 20           |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Aspergillus niger</i>             |                   | 2        | 10           | 10           |              |                   | 2        | 10         | 20           |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Aspergillus ochraceus</i>         |                   |          |              |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Aspergillus penicilloides</i>     |                   |          |              |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Aspergillus sp.</i>               |                   |          |              |              |              |                   | 1        | 10         |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Aspergillus versicolor</i>        |                   |          |              |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>       |                   |          |              |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Botrytis cinerea</i>              | 1 212 121         | 2        | 10           | 20           |              |                   |          |            |              | 1          | > 20     |                   |                   |                   |      |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>         |                   |          |              |              |              | 109 890           | 1        | 10         |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Cladosporium spp.</i>             | 34 141 414        | 4        | 950          | 1 080        | 1 015        | 69 597 070        | 4        | 850        | 890          | 890        | 4        | > 2 570           | > 3 420           | > 2 870           |      |
| <i>Eurotium spp.</i>                 |                   |          |              |              |              |                   |          |            |              |            | 2        | 10                | > 10              |                   |      |
| <i>Penicillium digitatum</i>         |                   |          |              |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Penicillium spp.</i>              | 1 212 121         | 4        | 20           | 30           | 20           |                   | 1        | 4          | 20           | 50         | 35       | 4                 | >10               | > 30              | > 25 |
| <i>Trichoderma sp.</i>               |                   |          |              |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <i>Wallemia sebi</i>                 |                   |          |              |              |              |                   |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| Hefen                                |                   | 1        | 20           |              |              |                   | 1        | 30         |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <b>Gesamt-KBE</b>                    | <b>37 010 101</b> | <b>4</b> | <b>1 040</b> | <b>1 140</b> | <b>1 110</b> | <b>70 549 451</b> | <b>4</b> | <b>930</b> | <b>1 040</b> | <b>955</b> | <b>4</b> | <b>&gt; 2 690</b> | <b>&gt; 3 810</b> | <b>&gt; 3 140</b> |      |
| <b>Nachweisgrenze</b>                | <b>2 020</b>      |          |              |              |              | <b>3 663</b>      |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |
| <b>Staubmenge in g</b>               | <b>17,0</b>       |          |              |              |              | <b>9,0</b>        |          |            |              |            |          |                   |                   |                   |      |

**Tabelle 8.** Vergleich jeweils einer Staub- und Luftprobe im Winter- und Sommerhalbjahr am Standort 3; Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, Med = Median.

| Schimmelpilz                         | Winterintervall 2 |          |           |            |           |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
|--------------------------------------|-------------------|----------|-----------|------------|-----------|------------------|----------|-----------|------------|-----------|----------|------------|------------|------------|
|                                      | Raum 1            |          |           |            |           | Raum 2           |          |           |            |           | außen    |            |            |            |
|                                      | Staub             | n        | Luft      |            |           | Staub            | n        | Luft      |            |           | n        | Luft       |            |            |
|                                      |                   |          | Min       | Max        | Med       |                  |          | Min       | Max        | Med       |          | Min        | Max        | Med        |
| <i>Mycelia sterilia</i>              |                   |          |           |            |           | 1                | 40       |           |            |           | 4        | 20         | 40         | 25         |
| <i>Mycelia varia/ andere Spezies</i> | 840 580           |          |           |            | 467 742   | 2                | 10       | 20        |            |           | 4        | 30         | 50         | 35         |
| <i>Alternaria sp.</i>                |                   |          |           |            |           |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus flavus</i>            |                   |          |           |            | 10 753    |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>         | 420 290           | 1        | 10        |            | 155 914   |                  |          |           |            |           | 2        | 20         | 20         |            |
| <i>Aspergillus niger</i>             | 101 449           |          |           |            | 5 376     |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus ochraceus</i>         |                   |          |           |            | 53 763    |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus sp.</i>               |                   |          |           |            |           |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus versicolor</i>        |                   |          |           |            | 16 129    |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>       |                   |          |           |            |           |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Botrytis cinerea</i>              |                   |          |           |            | 107 527   |                  |          |           |            |           | 2        | 10         | 20         |            |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>         | 144 928           |          |           |            | 10 753    |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Cladosporium spp.</i>             | 724 638           | 3        | 20        | 70         | 123 559   | 3                | 20       | 50        |            |           | 4        | 120        | 220        | 160        |
| <i>Eurotium spp.</i>                 | 57 971            |          |           |            | 32 258    |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <i>Penicillium spp.</i>              | 1 333 333         | 4        | 10        | 50         | 25        | 913 978          | 3        | 20        | 60         |           | 2        | 20         | 20         |            |
| <i>Trichoderma sp.</i>               | 289 855           |          |           |            |           |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| Hefen                                |                   |          |           |            | 0         |                  |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <b>Gesamt-KBE</b>                    | <b>3 913 043</b>  | <b>4</b> | <b>30</b> | <b>100</b> | <b>90</b> | <b>1 897 752</b> | <b>4</b> | <b>50</b> | <b>110</b> | <b>60</b> | <b>4</b> | <b>240</b> | <b>310</b> | <b>250</b> |
| <b>Nachweisgrenze</b>                | 14 493            |          |           |            |           | 5 376            |          |           |            |           |          |            |            |            |
| <b>Staubmenge in g</b>               | <b>2,0</b>        |          |           |            |           | <b>6,0</b>       |          |           |            |           |          |            |            |            |

| Schimmelpilz                         | Sommerintervall 4 |          |            |            |            |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
|--------------------------------------|-------------------|----------|------------|------------|------------|------------------|----------|--------------|--------------|--------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                      | Raum 1            |          |            |            |            | Raum 2           |          |              |              |              | außen    |                   |                   |                   |
|                                      | Staub             | n        | Luft       |            |            | Staub            | n        | Luft         |              |              | n        | Luft              |                   |                   |
|                                      |                   |          | Min        | Max        | Med        |                  |          | Min          | Max          | Med          |          | Min               | Max               | Med               |
| <i>Mycelia sterilia</i>              |                   | 1        | 10         |            |            | 2                | 10       | 20           |              |              | 3        | > 10              | > 50              |                   |
| <i>Mycelia varia/ andere Spezies</i> | 1 538 041         | 1        | 30         |            | 77 361     | 2                | 10       | 50           |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Alternaria sp.</i>                |                   |          |            |            | 69 444     |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Aspergillus flavus</i>            | 5 473             |          |            |            | 69 444     |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>         | 136 836           |          |            |            | 152 778    |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Aspergillus niger</i>             |                   | 1        | 10         |            |            | 1                | 10       |              |              |              | 2        | 10                | 20                |                   |
| <i>Aspergillus ochraceus</i>         | 5 473             |          |            |            |            |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Aspergillus sp.</i>               |                   |          |            |            |            | 1                | 20       |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Aspergillus versicolor</i>        |                   |          |            |            | 27 778     |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>       | 49 261            |          |            |            |            |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Botrytis cinerea</i>              | 164 204           | 2        | 10         | 10         | 208 333    | 1                | 10       |              |              |              | 1        | 20                |                   |                   |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>         | 16 420            |          |            |            |            | 1                | 10       |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Cladosporium spp.</i>             | 12 151 067        | 4        | 500        | 780        | 520        | 6 319 444        | 4        | 1 040        | 1 220        | 1 150        | 4        | > 2 270           | > 3 510           | > 3 370           |
| <i>Eurotium spp.</i>                 | 54 735            |          |            |            | 208 333    | 1                | 10       |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <i>Penicillium spp.</i>              | 437 876           | 4        | 10         | 40         | 30         | 222 222          | 4        | 20           | 70           | 50           | 4        | > 10              | > 30              | > 20              |
| <i>Trichoderma sp.</i>               |                   |          |            |            |            |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| Hefen                                |                   |          |            |            |            |                  |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <b>Gesamt-KBE</b>                    | <b>14 559 387</b> | <b>4</b> | <b>560</b> | <b>880</b> | <b>650</b> | <b>7 847 222</b> | <b>4</b> | <b>1 110</b> | <b>1 370</b> | <b>1 265</b> | <b>4</b> | <b>&gt; 3 860</b> | <b>&gt; 4 330</b> | <b>&gt; 3 970</b> |
| <b>Nachweisgrenze</b>                | 547               |          |            |            |            | 694              |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |
| <b>Staubmenge in g</b>               | <b>61,0</b>       |          |            |            |            | <b>48,0</b>      |          |              |              |              |          |                   |                   |                   |

**Tabelle 9.** Vergleich jeweils einer Staub- und Luftprobe im Winter- und Sommerhalbjahr am Standort 4; Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, Med = Median.

| Schimmelpilz                        | Winterintervall 2 |          |           |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
|-------------------------------------|-------------------|----------|-----------|------------|------------|------------------|----------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|
|                                     | Raum 1            |          |           |            |            | Raum 2           |          |            |            |            | außen    |            |            |            |
|                                     | Staub             | Luft     |           |            |            | Staub            | Luft     |            |            |            | n        | Luft       |            |            |
|                                     |                   | n        | Min       | Max        | Med        |                  | n        | Min        | Max        | Med        |          | n          | Min        | Max        |
| <i>Mycelia sterilia</i>             |                   | 3        | 20        | 30         |            | 3                | 40       | 50         |            | 4          | 20       | 60         | 35         |            |
| <i>Mycelia varia/andere Spezies</i> | 159 420           | 4        | 10        | 20         | 15         | 422 330          | 3        | 10         | 30         |            | 3        | 30         | 70         |            |
| <i>Acremonium sp.</i>               | 7 246             |          |           |            |            | 1 618            |          |            |            |            | 1        | 10         |            |            |
| <i>Alternaria sp.</i>               |                   |          |           |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus flavus</i>           |                   |          |           |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>        | 224 638           | 3        | 10        | 40         |            | 58 252           | 2        | 10         | 50         |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus niger</i>            | 14 492            |          |           |            |            | 147 249          |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus ochraceus</i>        | 94 203            |          |           |            |            | 275 081          |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus sp.</i>              |                   |          |           |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aspergillus versicolor</i>       |                   |          |           |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>      |                   |          |           |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Botrytis cinerea</i>             | 72 464            |          |           |            |            | 16 181           |          |            |            |            | 2        | 10         | 20         |            |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>        |                   |          |           |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Cladosporium spp.</i>            | 1 376 812         | 4        | 30        | 60         | 40         | 388 350          | 4        | 50         | 70         | 60         | 4        | 80         | 170        | 125        |
| <i>Eurotium spp.</i>                |                   | 1        | 10        |            |            |                  | 2        | 10         | 70         |            | 3        | 10         | 30         |            |
| <i>Paecilomyces variotii</i>        |                   | 1        | 10        |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Penicillium brevicompactum</i>   |                   | 1        | 10        |            |            |                  | 1        | 10         |            |            |          |            |            |            |
| <i>Penicillium spp.</i>             | 724 638           | 2        | 10        | 20         |            | 145 631          | 3        | 10         | 30         |            | 4        | 10         | 20         | 20         |
| <i>Trichoderma sp.</i>              | 7 246             |          |           |            |            | 1 618            |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <i>Ulocladium sp.</i>               |                   |          |           |            |            |                  |          |            |            |            | 1        | 10         |            |            |
| <i>Wallemia sebi</i>                | 72 464            |          |           |            |            |                  |          |            |            |            |          |            |            |            |
| Hefen                               |                   | 2        | 10        | 20         |            |                  | 2        | 10         | 10         |            | 3        | 20         | 40         |            |
| <b>Gesamt-KBE</b>                   | <b>2 753 623</b>  | <b>4</b> | <b>90</b> | <b>140</b> | <b>140</b> | <b>1 456 311</b> | <b>4</b> | <b>140</b> | <b>200</b> | <b>170</b> | <b>4</b> | <b>230</b> | <b>300</b> | <b>275</b> |
| <b>Nachweisgrenze</b>               | 7 246             |          |           |            |            | 1 618            |          |            |            |            |          |            |            |            |
| <b>Staubmenge in g</b>              | <b>5,0</b>        |          |           |            |            | <b>21,0</b>      |          |            |            |            |          |            |            |            |

| Schimmelpilz                        | Sommerintervall 4 |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
|-------------------------------------|-------------------|----------|--------------|--------------|--------------|-------------------|----------|--------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|
|                                     | Raum 1            |          |              |              |              | Raum 2            |          |              |              |              | außen    |              |              |              |
|                                     | Staub             | Luft     |              |              |              | Staub             | Luft     |              |              |              | n        | Luft         |              |              |
|                                     |                   | n        | Min          | Max          | Med          |                   | n        | Min          | Max          | Med          |          | n            | Min          | Max          |
| <i>Mycelia sterilia</i>             |                   | 1        | 10           |              |              |                   | 1        | 40           |              |              | 2        | 10           | 30           |              |
| <i>Mycelia varia/andere Spezies</i> |                   | 4        | 50           | 230          | 65           | 1 848 341         | 4        | 90           | 220          | 115          | 4        | 10           | 260          | 40           |
| <i>Acremonium sp.</i>               |                   |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Alternaria sp.</i>               |                   |          |              |              |              | 157 978           |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus flavus</i>           | 267 640           |          |              |              |              | 947 867           |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>        | 267 640           |          |              |              |              | 47 393            |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus niger</i>            |                   | 4        | 40           | 50           | 45           |                   | 4        | 50           | 80           | 60           | 4        | 20           | 40           | 25           |
| <i>Aspergillus ochraceus</i>        |                   |          |              |              |              | 157 978           |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus sp.</i>              |                   |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Aspergillus versicolor</i>       |                   |          |              |              |              |                   | 3        | 10           | 30           |              | 1        | 10           |              |              |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>      | 486 618           |          |              |              |              | 315 956           |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Botrytis cinerea</i>             | 1 216 545         | 1        | 10           |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>        | 72 993            |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Cladosporium spp.</i>            | 16 545 012        | 4        | 990          | 1 640        | 1 435        | 10 268 562        | 4        | 1 030        | 1 370        | 1 310        | 4        | 1 480        | 1 910        | 1 610        |
| <i>Eurotium spp.</i>                | 24 309            | 2        | 10           | 10           |              |                   |          |              |              |              | 1        | 10           |              |              |
| <i>Paecilomyces variotii</i>        |                   |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Penicillium brevicompactum</i>   |                   |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Penicillium spp.</i>             | 97 324            | 4        | 10           | 40           | 20           | 315 956           | 3        | 20           | 70           |              | 4        | 20           | 40           | 20           |
| <i>Trichoderma sp.</i>              |                   |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Ulocladium sp.</i>               |                   |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <i>Wallemia sebi</i>                |                   |          |              |              |              |                   |          |              |              |              |          |              |              |              |
| Hefen                               |                   | 3        | 10           | 50           |              | 473 934           | 2        | 10           | 60           |              |          |              |              |              |
| <b>Gesamt-KBE</b>                   | <b>19 197 080</b> | <b>4</b> | <b>1 420</b> | <b>1 860</b> | <b>1 620</b> | <b>14 533 965</b> | <b>4</b> | <b>1 400</b> | <b>1 750</b> | <b>1 645</b> | <b>4</b> | <b>1 580</b> | <b>2 480</b> | <b>1 770</b> |
| <b>Nachweisgrenze</b>               | 2 433             |          |              |              |              | 1 580             |          |              |              |              |          |              |              |              |
| <b>Staubmenge in g</b>              | <b>14,0</b>       |          |              |              |              | <b>21,0</b>       |          |              |              |              |          |              |              |              |

**Tabelle 10.** Schimmelpilze, die in Klassenräumen mindestens zehnmals nachgewiesen wurden, sortiert nach Nachweisen in Büroräumen.

| Schimmelpilz                                     | Klassenraum |                |                  | Büroraum  |                  |                   | Verhältnis<br>Mediane<br>Büro/<br>Schule | Verhältnis<br>95-Perzentile<br>Büro/<br>Schule | %Anteile<br>Nachweise<br>in Schulen | %Anteile<br>Nachweise<br>in Büros |
|--|-------------|----------------|------------------|-----------|------------------|-------------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
|  | n > BG      | Median         | 95-<br>Perzentil | n > BG    | Median           | 95-<br>Perzentil  |  |  |                                     |                                   |
| <i>Cladosporium</i> spp.                         | 335         | 48 916         | 1 357 111        | 96        | 1 874 163        | 25 232 713        | 38,3                                     | 18,6   | 90                                  | 100                               |
| <i>Penicillium</i> spp.                          | 303         | 18 519         | 146 091          | 88        | 193 723          | 1 395 833         | 10,5                                     | 9,6  | 82                                  | 92                                |
| andere Spezies                                   | 371         | 83 712         | 564 847          | 87        | 344 640          | 4 538 723         | 4,1                                      | 8,0  | 100                                 | 91                                |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>                     | 263         | 7 092          | 68 000           | 85        | 89 358           | 460 315           | 12,6                                     | 6,8  | 71                                  | 89                                |
| <i>Aspergillus niger</i>                         | 57          | 0              | 16 736           | 60        | 16 000           | 312 970           |  | 18,7   | 15                                  | 63                                |
| <i>Aspergillus ochraceus /<br/>westerdijkiae</i> | 18          | 0              | 0                | 44        | 0                | 152 911           |  |  | 5                                   | 46                                |
| <i>Botrytis cinerea</i>                          | 43          | 0              | 16 992           | 39        | 0                | 872 673           |  | 51,4   | 12                                  | 41                                |
| <i>Eurotium</i> sp.                              | 118         | 0              | 34 908           | 38        | 0                | 71 135            |  | 2,0  | 32                                  | 40                                |
| <i>Aspergillus versicolor</i>                    | 144         | 0              | 101 406          | 35        | 0                | 324 265           |  | 3,2  | 39                                  | 36                                |
| Hefen  | 239         | 9 804          | 326 527          | 24        | 0                | 244 382           |  | 0,7  | 64                                  | 25                                |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>                   | 97          | 0              | 61 275           | 22        | 0                | 366 753           |  | 6,0  | 26                                  | 23                                |
| <i>Aspergillus flavus</i>                        | 4           | 0              | 0                | 20        | 0                | 69 444            |  |  | 1                                   | 21                                |
| <i>Chrysonilia sitophila</i>                     | 2           | 0              | 0                | 18        | 0                | 40 749            |  |  | 1                                   | 19                                |
| <i>Trichoderma</i> sp.                           | 18          | 0              | 0                | 14        | 0                | 28 504            |  |  | 5                                   | 15                                |
| <i>Aspergillus</i> sp.                           | 3           | 0              | 0                | 11        | 0                | 8 193             |  |  | 1                                   | 11                                |
| <i>Alternaria</i> sp.                            | 47          | 0              | 10 324           | 9         | 0                | 85 732            |  | 8,3  | 13                                  | 9                                 |
| <i>Penicillium brevicompactum</i>                | 180         | 0              | 153 684          | 6         | 0                | 16 895            |  | 0,1  | 49                                  | 6                                 |
| <i>Penicillium</i> sp.                           | 45          | 0              | 54 751           | 6         | 0                | 53 302            |  | 1,0  | 12                                  | 6                                 |
| <i>Penicillium olsonii</i>                       | 43          | 0              | 32 342           | 5         | 0                | 11 006            |  | 0,3  | 12                                  | 5                                 |
| <i>Penicillium chrysogenum</i>                   | 155         | 0              | 199 850          | 4         | 0                | 0                 |  |  | 42                                  | 4                                 |
| <i>Aspergillus sydowii</i>                       | 16          | 0              | 0                | 4         | 0                | 0                 |  |  | 4                                   | 4                                 |
| <i>Aspergillus</i> spp.                          | 107         | 0              | 9 998            | 2         | 0                | 0                 |  |  | 29                                  | 2                                 |
| <i>Wallemia sebi</i>                             | 24          | 0              | 4 000            | 2         | 0                | 0                 |  |  | 6                                   | 2                                 |
| <i>Rhizopus stolonifer</i>                       | 22          | 0              | 1 273            | 2         | 0                | 0                 |  |  | 6                                   | 2                                 |
| <i>Penicillium digitatum</i>                     | 4           | 0              | 0                | 2         | 0                | 0                 |  |  | 1                                   | 2                                 |
| <i>Absidia corymbifera</i>                       | 2           | 0              | 0                | 2         | 0                | 0                 |  |  | 1                                   | 2                                 |
| <i>Acremonium</i> sp.                            | 1           | 0              | 0                | 2         | 0                | 0                 |  |  | 0                                   | 2                                 |
| <i>Eurotium amstelodami</i>                      | 30          | 0              | 7 607            | 1         | 0                | 0                 |  |  | 8                                   | 1                                 |
| <i>Penicillium variable</i>                      | 13          | 0              | 0                | 1         | 0                | 0                 |  |  | 4                                   | 1                                 |
| <i>Mucor racemosus</i>                           | 10          | 0              | 0                | 1         | 0                | 0                 |  |  | 3                                   | 1                                 |
| <i>Penicillium aurantiogriseum</i> -<br>Gruppe   | 66          | 0              | 121 996          |           |                  |                   |  |  | 18                                  | 0                                 |
| <i>Penicillium glabrum</i>                       | 22          | 0              | 5 488            |           |                  |                   |  |  | 6                                   | 0                                 |
| <i>Aspergillus restrictus</i>                    | 21          | 0              | 8 154            |           |                  |                   |  |  | 6                                   | 0                                 |
| <i>Eurotium herbariorum</i>                      | 16          | 0              | 0                |           |                  |                   |  |  | 4                                   | 0                                 |
| <i>Mucor hiemalis</i>                            | 15          | 0              | 0                |           |                  |                   |  |  | 4                                   | 0                                 |
| <i>Mucor plumbeus</i>                            | 12          | 0              | 0                |           |                  |                   |  |  | 3                                   | 0                                 |
| <i>Cladosporium cladosporioides</i>              | 10          | 0              | 0                |           |                  |                   |  |  | 3                                   | 0                                 |
| <b>KBE-Gesamt</b>                                | <b>371</b>  | <b>452 416</b> | <b>3 364 495</b> | <b>96</b> | <b>3 970 411</b> | <b>36 316 406</b> | <b>8,8</b>                               | <b>10,8</b>                                    | <b>100</b>                          | <b>100</b>                        |
| <b>Außenluftpilze</b>                            | <b>343</b>  | <b>53 601</b>  | <b>1 440 323</b> | <b>96</b> | <b>2 077 816</b> | <b>26 122 285</b> | <b>38,8</b>                              | <b>18,1</b>                                    | <b>92</b>                           | <b>100</b>                        |
| <b>KBE-Gesamt-Außenluftpilze</b>                 | <b>371</b>  | <b>276 191</b> | <b>1 972 433</b> | <b>96</b> | <b>1 347 868</b> | <b>9 160 870</b>  | <b>4,9</b>                               | <b>4,6</b>                                     | <b>100</b>                          | <b>100</b>                        |

len häufiger mit Schimmelpilzbefall oder verrottenden Lebensmitteln in Verbindung gebracht [1; 2], was in den Büroräumen nicht angezeigt war. Der geringere Nachweis von Hefen in Büroräumen im Vergleich zu Klassenräumen könnte mit der Luftfeuchtigkeit zusammenhängen. In Klassenräumen ist im Vergleich zu Büroräumen aufgrund der Zahl der dort anwesenden Personen mit einer höheren Luftfeuchtigkeit zu rechnen, sodass Hefen dort während der Sammelphase seltener austrocknen [9; 10].

Die Staubmengen waren in den Büroräumen wesentlich geringer als in den Klassenräumen. 90 % der Probenahmen hatten dort eine Staubmenge von mindestens 10 g bei einem Medianwert von 46 g [2]. Das lässt einerseits auf eine geringere Lüftungsaktivität schließen, andererseits ist auch die Luftverwirbelung in Büros aufgrund geringerer Personenzahl und -bewegung nicht so hoch wie in Klassenräumen. Ferner werden Staubpartikel am

Teppichboden gebunden und beim Staubsaugen, abhängig von der Partikelgröße und der Qualität des Saugers, in diesem abgetrennt. In Klassenräumen wird dagegen häufig gefegt statt gesaugt, was eine höhere Staubaufwirbelung zur Folge hat. Allerdings ist keine Korrelation zwischen der gesammelten Staubmenge und der Höhe der Konzentration erkennbar.

Weitere Gründe für die abweichenden Schimmelpilzkonzentrationen im Staub von Büro- und Klassenräumen könnten auf unterschiedliche Höhen der Sammelflächen oder die Ausstattung mit Pflanzen zurückzuführen sein.

Die Sammelflächen für den Sedimentationsstaub waren mit Höhen zwischen 1,95 und 2,25 m in Büroräumen höher als in Schulen, die zwischen 1,60 und 2,00 m lagen. Es zeigten sich hier für die Staubmenge und die darin nachgewiesenen Außen- und Innenraumluftpilze allerdings keine gravierenden Unterschiede

zwischen der Höhe von 1,95 und 2,25 m. Die Höhe der Sammelfläche scheint insofern keine Ursache für die höheren Schimmelpilzkonzentrationen in Büroräumen zu sein.

Im Vergleich zu Klassenräumen waren in Büroräumen mehr Topfpflanzen anzutreffen. Dies kann ein Grund für die häufigeren Nachweise von *Aspergillus niger* und *Aspergillus ochraceus* und/oder *Aspergillus westerdijkiae* im Staub von Büroräumen im Vergleich zu denen in Klassenräumen sein, wie insbesondere die Ergebnisse für Büroräume mit größerem Topfpflanzenbestand zeigten.

Trotz der geringeren Nachweise von Schimmelpilzgattungen und -arten in Büroräumen im Vergleich zu denen in Klassenräumen lässt sich der Einfluss ihrer Lage erkennen. Die Konzentration und das Spektrum der Schimmelpilze, hier insbesondere der Außenluftpilze, sind in den Städten in ländlicher Lage ausgeprägter als in den Städten in Ballungsgebieten. In Ballungsgebieten könnte die Schimmelpilzkonzentration in Räumen somit stärker durch Quellen aus dem Innenraum als durch Außenlufteintrag geprägt gewesen sein.

Eine weitere Begründung für höhere Schimmelpilzkonzentrationen im Sedimentationsstaub von Büroräumen könnte sein, dass die Büroräume alle mit Teppichboden ausgestattet waren und mindestens zweimal in der Woche gesaugt wurden. Das hat zwar im Vergleich zu Klassenräumen eine höhere Staubreduzierung zur Folge. Da die Staubsauger aber nicht mit Feinstaubfiltern ausgestattet waren, wurden beim Saugen sicherlich nicht alle Schimmelpilzsporen abgeschieden und ein Teil wieder in die Raumluft abgegeben. Daraus resultiert einerseits eine geringere Staubmenge, andererseits aber eine stärkere Anreicherung des Sedimentationsstaubes mit Schimmelpilzen.

Wie die Staubproben zeigen auch die hier stichprobenhaft erläuterten Luftmessungen insgesamt keine Auffälligkeiten, was in unauffälligen Büroräumen auch zu erwarten war. Die Luftkonzentrationen waren dabei in der Außenluft in der Regel höher als in Räumen. Im Vergleich zu den Staubproben wurden allerdings weniger Schimmelpilzgattungen und -spezies identifiziert. Die Staubmessungen lieferten somit in den überprüften Räumen selektivere Ergebnisse. Tendenzen, wie der bei den Staubproben erkennbare Einfluss der Standortlage oder Raumausstattung mit Pflanzen, spiegeln die Luftproben nicht wider. Der Vergleich verdeutlicht somit die Nachteile der zeitlich wie örtlich punktuell durchgeführten Luftprobenahmen gegenüber den Zwei-Monats-Staubproben.

Auch andere Autoren haben sich mit dem Nachweis von Schimmelpilzen im Staub und in der Luft befasst. Um die Hintergrundbelastung in Wohnungen festzustellen, untersuchten Trautmann et al. im Auftrag des UBA an drei Standorten in Deutschland den Gehalt von Schimmelpilzen im Fußbodenstaub und in der Luft in jeweils 25 bis 28 Wohnungen, in denen kein sichtbarer Schimmelpilzbefall oder Feuchteschaden zu erkennen war [11; 12]. Die Probenahme erfolgte jeweils einmal im Winterhalbjahr und einmal im Sommerhalbjahr.

Die Proben wurden von Teppichböden in Wohnzimmern genommen [11]. Vor der Entnahme der Fußbodenstaubproben durfte in der Wohnung sieben Tage lang kein Staub mehr gesaugt oder auf andere Art gereinigt werden. Insgesamt wurden 35 Pilzarten und -gattungen im Staub differenziert. Die Zahl der Nachweise entspricht insofern den Nachweisen im Sedimentationsstaub dieser Studie.

Die Mehrzahl der Pilzarten und -gattungen traten nur in wenigen Staubproben aus den Wohnräumen auf. Mehr als 80 % der untersuchten Winter- und Sommerstaubproben enthielten Vertreter der Gattungen *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium* und Hefen. Für *Cladosporium* spp. wurden im Sommer wesentlich höhere Konzentrationen festgestellt als im Winter. Die Gattung *Penicillium* zeigte im Winter und im Sommer nur geringe Unterschiede. Dieses Ergebnis stimmt somit mit den Erkenntnissen aus der hier vorgestellten Studie überein.

Die Gesamtschimmelpilzkonzentration im Fußbodenstaub lag je nach Standort im Winter als Median unterhalb 500 000 KBE/m<sup>3</sup> und als 95-Perzentil oberhalb 500 000 KBE/m<sup>3</sup>. Im Sommer lag der Medianwert nahe bei 1 500 000 KBE/m<sup>3</sup> und als 95-Perzentilwert zwischen 2 000 000 und etwas mehr als 4 000 000 KBE/m<sup>3</sup>. Für den Verlauf der Gesamtschimmelpilzkonzentration zeigt sich somit ein vergleichbarer Konzentrationsverlauf wie in dieser Studie. Er ist hier jedoch in der Größenordnung um den Faktor zehn höher. Vergleichbar mit dieser Studie sind auch der Verlauf und der Anteil von Cladosporien. Gleiches gilt für die Gattung *Aspergillus niger*, die auch im Fußbodenstaub im Sommer häufiger und in höherer Konzentration nachgewiesen wurde als im Winter. *Penicillium* spp. zeigte dagegen mit dieser Studie vergleichbare Werte in der Häufigkeit und Höhe der Konzentration. *Alternaria*-spp. und Hefen sind in dieser Studie dagegen geringer vertreten als in den Fußbodenstaubproben. Auch *Fusarium* spp. wurde im Gegensatz zu dieser Studie im Fußbodenstaub häufiger nachgewiesen. In geringerer Zahl und Konzentration wurden in der Wohnraumstudie dagegen die Außenluftpilze *Botrytis cinerea* und *Aureobasidium pullulans* sowie *Aspergillus ochraceus* und *Aspergillus flavus* nachgewiesen. Der Nachweis letztgenannter Spezies wurde in Büroräumen auf die Ausstattung mit Topfpflanzen zurückgeführt. Ein entsprechender Einfluss ist in Wohnzimmern nicht erkennbar.

Zur Ermittlung der Luftkonzentration von Schimmelpilzen in Wohnungen wurden jeweils drei Proben im Wohnzimmer sowie in der Außenluft genommen [12]. In dieser Studie wurden jeweils vier Proben genommen, was einen Einfluss auf den Vergleich der Medianwerte hat.

Der Vergleich der Ergebnisse aus den Luft- und Staubproben in Büroräumen und Wohnzimmern ist den **Tabellen 11** und **12** zu entnehmen. Man sieht, dass in beiden Studien in der Mehrzahl der Proben sowohl in der Innen- wie in der Außenluft Vertreter der Gattungen *Cladosporium* und *Penicillium* gefunden wurden. Dabei ist in beiden Studien ein deutlicher Unterschied in der Konzentration von *Cladosporium* spp. für das Winter- und Sommerhalbjahr zu erkennen. *Penicillium* spp. zeigt in beiden Studien dagegen nur einen geringen Unterschied im Vergleich der Halbjahre. Auch die Konzentrationen sind für beide Gattungen in beiden Studien in etwa gleich.

Im Gegensatz zu den hier vorgestellten Ergebnissen aus Luftproben konnte man in den Wohnräumen häufiger weitere Gattungen und einzelne Spezies identifizieren. Dies waren im Sommerhalbjahr insbesondere *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger* und *Eurotium* spp. Die Außenluftpilze *Botrytis cinerea* und *Aureobasidium pullulans* waren dagegen selten oder nicht vertreten.

In den Wintermonaten, in denen die Aspergillen eine geringere Rolle spielten, wurden dagegen *Botrytis cinerea* und *Eurotium* spp. häufiger nachgewiesen, wenngleich auch in geringerer Konzentration. Gleiches gilt auch *Walleria sebi*, wobei die Konzentra-

**Tabelle 11.** Vergleich von Luftproben im Winterhalbjahr in Wohnzimmern (n = 80) und Büros (n = 8) in KBE/m<sup>3</sup>, sortiert nach der Nachweishäufigkeit in der Wohnraumstudie; Max = Maximalwert, Min = Minimalwert.

| Schimmelpilz                               | Wohnzimmer |        |              |       |          |        |              |       | Büroraum  |     |     |          |     |     |
|--|------------|--------|--------------|-------|----------|--------|--------------|-------|-----------|-----|-----|----------|-----|-----|
|  | Außenluft  |        |              |       | Raumluft |        |              |       | Außenluft |     |     | Raumluft |     |     |
|  | %          | Median | 95-Perzentil | Max   | %        | Median | 95-Perzentil | Max   | n         | Min | Max | n        | Min | Max |
| <i>Cladosporium</i> spp.                   | 98         | 50     | 337          | 1 060 | 96       | 20     | 101          | 135   | 4         | 35  | 355 | 7        | 0   | 60  |
| <i>Penicillium</i> spp.                    | 94         | 15     | 50           | 60    | 96       | 23     | 110          | 460   | 4         | 10  | 60  | 5        | 0   | 40  |
| andere Spezies                             | 85         | 8      | 26           | 440   | 68       | 5      | 20           | 240   | 4         | 15  | 55  | 4        | 0   | 30  |
| <i>Eurotium</i> sp.                        | 85         | 10     | 30           | 60    | 79       | 5      | 10           | 40    | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Fusarium</i> spp.                       | 75         | 5      | 40           | 300   | 53       | 5      | 10           | 20    | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| Hefen                                      | 67         | 5      | 115          | 280   | 58       | 5      | 61           | 130   | 1         | 0   | 30  | 2        | 5   | 10  |
| <i>Wallemia sebi</i>                       | 67         | 5      | 45           | 1 140 | 63       | 5      | 30           | 780   | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Botrytis cinerea</i>                    | 54         | 5      | 20           | 40    | 30       | 0      | 5            | 15    | 3         | 0   | 5   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Mycelia sterilia</i>                    | 54         | 5      | 80           | 300   | 0        | 0      | 20           | 60    | 4         | 5   | 35  | 5        | 0   | 50  |
| <i>Alternaria</i> spp.                     | 28         | 0      | 10           | 220   | 33       | 0      | 5            | 10    | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>               | 11         | 0      | 65           | 100   | 9        | 0      | 51           | 540   | 2         | 10  | 20  | 4        | 0   | 50  |
| <i>Penicillium brevicompactum</i>          | 6          | 0      | 80           | 3 000 | 10       | 0      | 40           | 3 000 | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Mucor</i> spp.                          | 6          | 0      | 5            | 10    | 9        | 0      | 5            | 5     | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Rhizopus</i> spp.                       | 6          | 0      | 5            | 50    | 14       | 0      | 5            | 20    | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Penicillium chrysogenum</i>             | 5          | 0      | 2            | 355   | 9        | 0      | 80           | 430   | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Penicillium olsonii</i>                 | 4          | 0      | 0            | 55    | 5        | 0      | 2            | 60    | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Penicillium expansum</i>                | 4          | 0      | 0            | 1 140 | 4        | 0      | 0            | 190   | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Aureobasidium</i> spp.                  | 3          | 0      | 0            | 5     | 9        | 0      | 5            | 10    | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Aspergillus versicolor</i>              | 1          | 0      | 0            | 70    | 8        | 0      | 80           | 380   | 0         | 0   | 0   | 1        | 0   | 5   |
| <i>Paecilomyces</i> spp.                   | 1          | 0      | 0            | 5     | 5        | 0      | 0            | 45    | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Aspergillus niger</i>                   | 0          | 0      | 0            | 0     | 0        | 0      | 0            | 0     | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Aspergillus ochraceus/westerdijkiae</i> | 0          | 0      | 0            | 0     | 1        | 0      | 0            | 95    | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Aspergillus flavus</i>                  | 0          | 0      | 0            | 0     | 0        | 0      | 0            | 0     | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Trichoderma</i> spp.                    | 0          | 0      | 0            | 20    | 5        | 0      | 0            | 5     | 0         | 0   | 0   | 0        | 0   | 0   |
| <i>Eurotium</i> spp.                       | 0          | 0      | 0            | 0     | 0        | 0      | 0            | 0     | 1         | 0   | 15  | 2        | 0   | 5   |
| KBE-Gesamt                                 |            |        |              |       |          |        |              |       | 4         | 250 | 460 | 8        | 25  | 170 |

tionen für diese Art im Vergleich zum Sommer höher ausfielen. *Fusarium* spp. wurde auch im Winterhalbjahr häufig nachgewiesen, jedoch in geringerer Konzentration im Vergleich zum Sommer. Häufigere Nachweise fanden sich in beiden Halbjahren in der Wohnraumstudie auch für die Hefen, wobei die Konzentrationen im Sommer im Vergleich zum Winter deutlich höher waren.

In den hier dargestellten Stichproben wurden nur wenige Spezies in der Luft identifiziert. Nachgewiesen wurden im wesentlichen *Aspergillus fumigatus* und *Aspergillus niger*. *Aspergillus fumigatus* fand man im Gegensatz zur Wohnraumstudie und den Sedimentationsstaubproben jedoch nur im Winter.

Die Gattung *Fusarium* spp. wurde in dieser Studie, im Gegensatz zur Wohnraumstudie, weder im Sedimentations- noch im Luftstaub nachgewiesen. Auch die Hefen wies man, im Gegensatz zur Wohnraumstudie, im Staub und in der Luft deutlich seltener nach. Eine Ursache dafür könnte eine höhere Luftfeuchtigkeit im Vergleich zu Büroräumen sein, z. B. durch Kochen und Backen. Ein Eintrag der Hefen über die Lüftung lässt sich im Gegensatz zu den Cladosporien hier nicht verifizieren.

Beim Vergleich der Luftproben von Büro- und Wohnräumen ist jedoch anzumerken, dass für den Bürobereich aufgrund der bislang wenigen ausgewerteten Proben nur eine Tendenz aufgezeigt werden kann, die jedoch hinsichtlich der Cladosporien und Penicillien eine gute Übereinstimmung mit der Wohnraumstudie zeigt. Ein fundierter Vergleich kann erst nach Auswertung aller 96 Raum- und 48 Außenluftproben erfolgen.

Der Vergleich der Ergebnisse aus Wohn- und Büroräumen zeigt, dass sich im Gegensatz zu Klassenräumen eine bessere Übereinstimmung ergibt. Die größere Zahl der in Klassenräumen nachgewiesenen Gattungen und Spezies kann mit der längeren Dauer der Studie, der Vielzahl der Standorte und der deutlich größeren Zahl von Proben erklärt werden. Außerdem ist in Klassenräumen wegen des Lüftungsverhaltens und durch Luftbewegungen aufgrund der vielen Raumnutzer von einem höheren Luftwechsel auszugehen. Auf die unterschiedliche Ausstattung der Räume mit Teppichböden in Büroräumen im Vergleich zur überwiegend glatten Fußbodengestaltung in Klassenräumen wurde bereits hingewiesen, was auch die Anwendung unterschiedlicher Reinigungsverfahren zur Folge hat.

*Gabrio et al.* [13] kommen als Schlussfolgerung aus den durchgeführten Untersuchungen in Wohnungen zu einer kritischen Würdigung der Aussagekraft von Luft- und Fußbodenstaubuntersuchungen. Eine Einzelmessung habe nur eine geringe Aussagekraft, heißt es dort. Schimmelpilzmessungen in Innenräumen hätten vor allem bei niedrigen Konzentrationen eine große Messunsicherheit. Die Bewertung von Schimmelpilzkonzentrationen in der Raumluft und im Staub sei insofern von vielen Zufälligkeiten abhängig. Wie hier gezeigt wurde, vermeidet man bei der Auswertung von Zwei-Monats-Sedimentationsstaub solche Zufälligkeiten. So lassen sich die Schimmelpilze im Sedimentationsstaub im Vergleich zu einer Einzelmessung in der Luft besser differenzieren. Im Gegensatz zu Fußbodenstaubproben können

**Tabelle 12.** Vergleich von Luftproben im Sommerhalbjahr in Wohnzimmern (n = 80) und Büros (n = 8) in KBE/m<sup>3</sup>, sortiert nach der Nachweishäufigkeit in der Wohnraumstudie; Max = Maximalwert, Min = Minimalwert.

| Schimmelpilz                               | Wohnzimmer Außenluft |        |              |       | Wohnzimmer Raumluft |        |              |       | Büroraum Außenluft |              |              | Büroraum Raumluft |            |              |
|--|----------------------|--------|--------------|-------|---------------------|--------|--------------|-------|--------------------|--------------|--------------|-------------------|------------|--------------|
|  | %                    | Median | 95-Perzentil | Max   | %                   | Median | 95-Perzentil | Max   | n                  | Min          | Max          | n                 | Min        | Max          |
| <i>Fusarium</i> spp.                       | 96                   | 80     | 200          | 500   | 94                  | 60     | 162          | 240   | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Cladosporium</i> spp.                   | 82                   | 980    | 4 155        | 5 600 | 86                  | 640    | 1 802        | 3 220 | 4                  | 1 610        | 3 810        | 8                 | 520        | 1 790        |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>               | 79                   | 10     | 45           | 100   | 77                  | 10     | 40           | 100   | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Alternaria</i> spp.                     | 77                   | 20     | 80           | 140   | 81                  | 20     | 60           | 120   | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Penicillium</i> spp.                    | 70                   | 20     | 98           | 400   | 70                  | 20     | 82           | 840   | 4                  | 15           | > 25         | 7                 | 0          | 70           |
| <i>Aspergillus niger</i>                   | 65                   | 10     | 40           | 120   | 63                  | 10     | 60           | 200   | 3                  | 5            | 25           | 2                 | 0          | 60           |
| Hefen                                      | 62                   | 20     | 2 000        | 2 000 | 84                  | 180    | 2 000        | 2 000 | 0                  | 0            | 0            | 2                 | 50         | 60           |
| <i>Eurotium</i> spp.                       | 48                   | 0      | 29           | 40    | 37                  | 0      | 42           | 100   | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Rhizopus</i> spp.                       | 42                   | 0      | 20           | 20    | 30                  | 0      | 20           | 20    | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Penicillium olsonii</i>                 | 37                   | 0      | 58           | 80    | 51                  | 10     | 80           | 906   | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Aspergillus flavus</i>                  | 32                   | 0      | 20           | 40    | 23                  | 0      | 20           | 60    | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| andere Spezies                             | 28                   | 0      | 20           | 60    | 33                  | 0      | 20           | 200   | 5                  | 0            | 115          | 1                 | 0          | 40           |
| <i>Penicillium brevicompactum</i>          | 25                   | 0      | 49           | 120   | 39                  | 0      | 40           | 260   | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Mucor</i> spp.                          | 23                   | 0      | 20           | 20    | 17                  | 0      | 20           | 20    | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Penicillium expansum</i>                | 23                   | 0      | 20           | 40    | 29                  | 0      | 20           | 80    | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Penicillium chrysogenum</i>             | 21                   | 0      | 20           | 60    | 24                  | 0      | 20           | 60    | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Aspergillus versicolor</i>              | 15                   | 0      | 20           | 20    | 33                  | 0      | 40           | 160   | 0                  | 0            | 0            | 1                 | 0          | 20           |
| <i>Trichoderma</i> spp.                    | 11                   | 0      | 20           | 20    | 6                   | 0      | 5            | 20    | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Paecilomyces</i> spp.                   | 11                   | 0      | 10           | 40    | 11                  | 0      | 10           | 20    | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Aspergillus ochraceus/westerdijkiae</i> | 9                    | 0      | 20           | 60    | 9                   | 0      | 20           | 180   | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Botrytis cinerea</i>                    | 9                    | 0      | 20           | 20    | 6                   | 0      | 11           | 20    | 0                  | 0            | 0            | 2                 | 0          | 5            |
| <i>Mycelia sterilia</i>                    | 8                    | 0      | 20           | 20    | 22                  | 0      | 20           | 40    | 4                  | > 20         | 40           | 3                 | 0          | 20           |
| <i>Wallemia sebi</i>                       | 6                    | 0      | 19           | 60    | 15                  | 0      | 20           | 200   | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Aureobasidium pullulans</i>             | 0                    | 0      | 0            | 0     | 0                   | 0      | 0            | 0     | 0                  | 0            | 0            | 0                 | 0          | 0            |
| <i>Eurotium</i> spp.                       | 0                    | 0      | 0            | 0     | 0                   | 0      | 0            | 0     | 1                  | 0            | 5            | 1                 | 0          | 5            |
| <b>KBE-Gesamt</b>                          |                      |        |              |       |                     |        |              |       | <b>4</b>           | <b>1 770</b> | <b>3 980</b> | <b>4</b>          | <b>650</b> | <b>1 830</b> |

Fehlinterpretationen durch eingetragene Schimmelpilze vermieden werden.

Auch der neue UBA-Leitfaden [8] verlautet, dass es bis heute wegen der Schwierigkeiten, ausreichende Mengen eines definierten Sedimentationsstaubes zu sammeln, der unterschiedlichen Zusammensetzung des Hausstaubes und der geringen Überlebensfähigkeit mancher Pilzsporen nicht gelungen sei, ein standardisiertes Verfahren zur Analytik und Beurteilung von Staubproben zu erarbeiten. Daher könnten Ergebnisse von Staubuntersuchungen nicht eindeutig interpretiert werden. Die Studien über Schimmelpilzbelastungen im Sedimentationsstaub von Klassen- und Büroräumen können daher dazu beitragen, diesem Sachverhalt abzuwehren.

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel dieser Arbeit war es, Schimmelpilzkonzentrationen im Sedimentationsstaub auf höher gelegenen Flächen in Büroräumen zu ermitteln. Dazu erfolgte eine Langzeitaufnahme von luftgetragenen Schimmelpilzen im Sedimentationsstaub auf höher gelegenen Ablagerungsflächen in unverdächtigen Büroräumen. Eine vergleichbare Studie wurde bereits für Klassenräume in Schulen vorgestellt [1; 2]. Im Vergleich zu dieser Studie lassen sich folgende Unterschiede in den Ergebnissen feststellen:

- Es wurden halb so viele Gattungen und Spezies ermittelt. Diese waren insbesondere in den Sommermonaten stark durch Außenluftpilze geprägt und wohl durch Lüftung eingetragen. Schimmelpilze, die auf Schimmelpilzbildung im Innenraum hinweisen, wurden nur selten ermittelt, was in Büroräumen ohne Schimmelpilzverdacht auch nicht zu erwarten war.
- Dennoch gaben die im Sedimentationsstaub nachgewiesenen Gattungen und Spezies Hinweise auf die Lage der Räumlichkeiten und die Ausstattung mit Topfpflanzen.
- Die Gesamtschimmelpilzkonzentrationen im Sedimentationsstaub lagen in Büroräumen etwa um das Zehnfache höher als in Klassenräumen. Anders als in Klassenräumen waren die Büroräume aber überwiegend mit Teppichboden ausgestattet, sodass das Staubsaugen des Bodens hierfür eine Ursache sein könnte. Gegebenenfalls werden Schimmelpilze in der im Vergleich zu Klassenräumen ohnehin geringeren Sedimentationsstaubmenge angereichert.
- Auch in Büroräumen konnte der Jahresgang der Schimmelpilzkonzentrationen reproduziert werden. Die Schimmelpilzkonzentrationen im Sedimentationsstaub waren im Sommer deutlich höher als im Winter.
- Die Staubproben ließen im Vergleich zu den Luftproben eine bessere Differenzierung der vorhandenen Gattungen und Spezies zu.

- Im Vergleich zu Klassenräumen ergab sich in Büroräumen eine bessere Übereinstimmung mit den Ergebnissen der vom UBA in Auftrag gegebenen Untersuchung von Staub- und Luftproben in Haushaltungen.

Insgesamt erscheint das Verfahren der Untersuchung des Sedimentationsstaubes auf Ablagerungsflächen in Räumen geeignet, um Schimmelpilzbelastungen in Büro- oder Klassenräumen festzustellen. Die Nachteile einer örtlich und zeitlich punktuellen Probenahme bei Luftproben oder der Kontamination von Fußbodenstaub durch eingetragenen Staub lässt sich dadurch vermeiden. Aufgrund der bislang nur vergleichsweise geringen Probenzahl von 96 Proben im Gegensatz zu 371 in Klassenräumen sollten zur Ableitung von Referenzwerten im Sinne von [14] aber weitere Untersuchungen erfolgen. Dabei sollten auch andere Bodenbeläge als Teppichböden Berücksichtigung finden. Ferner sollte das Verfahren auch in Räumen getestet werden, in denen Schimmelpilzbelastungen, beispielsweise durch Feuchteschäden, vermutet werden. ■

#### Literatur

- [1] Neumann, H. D.; Buxtrup, M.; Sander, A.; Klus, K.: Gesunde Luft in Schulen. Teil 3 – Schimmelpilze im Sedimentationsstaub von Klassenräumen. Hrsg.: Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2017. [www.unfallkasse-nrw.de](http://www.unfallkasse-nrw.de), Webcode S0376
- [2] Neumann, H. D.; Buxtrup, M.; Sander, A.; Klus, K.: Schimmelpilze im Sedimentationsstaub von Klassenräumen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 78 (2018) Nr. 7/8, S. 301-314.
- [3] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis Bewertung Qualitätsmanagement – Abgestimmtes Arbeitsergebnis des Arbeitskreises „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg“. 2. Aufl. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart, 2011. [www.gomed-landau.de/downloads/schimmelpilze\\_in\\_innenraeumen.pdf](http://www.gomed-landau.de/downloads/schimmelpilze_in_innenraeumen.pdf)
- [4] Ergebnis des 4. Ringversuchs „Differenzierung von innenraumrelevanten Schimmelpilzen“ des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg, Frühjahr 2003.
- [5] de Hoog, G. S.; Guarro, J.; Gene, J. Figueras, M.: Atlas of clinical fungi. 2. Aufl. Hrsg.: Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, Niederlande, 2010.
- [6] Samson, R.; Houbraken, J.; Thrane, U.; Frisvad, J. C.; Anderson, B.: Food and indoor fungi, CBS Laboratory Manual Series. 1. Aufl. Hrsg.: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, Niederlande 2010.
- [7] Domsch, K. H.; Gams, W.; Anderson, T. H.: Compendium of Soil Fungi, Vol I und II, Reprint der 1. Ausgabe 1980. Eching: IHW 1993.
- [8] Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2017.
- [9] Neumann, H. D.; Buxtrup, M.: Gesunde Luft in Schulen. Teil 2 – Beurteilung der CO<sub>2</sub>-Konzentration und der thermischen Behaglichkeit in Klassenräumen (PIN 57), Hrsg.: Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2014.
- [10] Neumann, H. D.; Buxtrup, M.: Beurteilung der thermischen Behaglichkeit in Klassenräumen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 74 (2014) Nr. 7/8, S. 322-328.
- [11] Trautmann, C.; Gabrio, T.; Dill, I.; Weidner, U.: Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilzen in Hausstaub – Erhebung von Schimmelpilzkonzentrationen in Wohnungen ohne bekannte Schimmelpilzschäden in drei Regionen Deutschlands. Bundesgesundheitsbl. (2005), S. 29-35
- [12] Trautmann, C.; Gabrio, T.; Dill, I.; Weidner, U.; Baudisch, C.: Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilzen in Luft – Erhebung von Schimmelpilzkonzentrationen in Wohnungen ohne bekannte Schimmelpilzschäden in drei Regionen Deutschlands. Bundesgesundheitsbl. 48 (2005), S. 12-20.
- [13] Gabrio, T.; Seidel, H.-P.; Szewzyk, R.; Trautmann, Ch.; Weidner, U.: Aussagekraft von Luft- und Hausstaubuntersuchungen im Zusammenhang mit Schimmelpilzproblemen im Innenraum. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 65 (2005) Nr. 3, S.106-113.
- [14] Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten – Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsbl. 50 (2007), S. 990-1005.

Dr.-Ing. Heinz-Dieter Neumann,  
ehemals Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

Martin Buxtrup,  
Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Münster.

Dr. rer. nat. Klaus Klus,  
Fa. BMA-Labor, Bochum.