

Verteilung der Konzentration luftgetragener keimfähiger Schimmelpilzsporen in Innenraum- und Außenluft bei Nachweis über Filtration

T. Fangmeyer¹ und Dr. C. Zorn¹

¹Bremer Umweltinstitut GmbH, Fahrenheitstr. 1; 28359 Bremen, Deutschland
email: mail@bremer-umweltinstitut.de <http://www.bremer-umweltinstitut.de>

1. Einleitung

Schimmelpilze begleiten den Menschen in fast allen Lebensräumen und sind so natürlicher und unabdingbarer Bestandteil seiner Atemluft. Gleichzeitig ist mittlerweile unumstritten, dass Schimmelpilzsporen in der Atemluft das Potential haben, schädigend auf die menschliche Gesundheit einzuwirken. Entscheidende Größe dafür, ob es im Einzelfall tatsächlich zur Ausbildung von gesundheitlichen Problemen in Folge einer Schimmelpilzexposition kommt ist u.a. die Artenzusammensetzung des Sporengemisches sowie die Höhe und die Dauer der Exposition.

Da belastbare und allgemeingültige Ableitungen von kausalen Dosis-Wirkungs-Beziehungen bei der Inhalation von Schimmelpilzsporen aus epidemiologischen oder klinischen Studien bislang nicht vorliegen und so auch keine einheitlichen Richt- oder Grenzwerte für Schimmelpilzbelastungen der Innenraumluft etabliert werden konnten hat sich spätestens seit dem erstmaligen Erscheinen des „Schimmelpilzleitfadens“ des Umweltbundesamtes im Jahre 2002 für die raumlufthygienische Bewertung von Schimmelpilzbefall im Innenraum der Konsens ausgebildet, Schimmelpilzbefall im Innenraum grundsätzlich – mit Ausnahme von Marginalschäden – als unakzeptabel einzustufen. Aus dieser Perspektive allein erscheinen die Bestimmung der tatsächlichen Belastungshöhe über eine Raumluftmessung *für die Abschätzung des Handlungsbedarfes* nicht mehr notwendig.

Die Bestimmung der Konzentration von Schimmelpilzsporen in der Innenraumluft wird seitdem überwiegend in den Kontext einer Innenraumquellensuche eingeordnet, falls z.B. ein Schimmelpilzbefall im Innenraum angenommen wird, dieser aber nicht durch bloße Inaugenscheinnahme vor Ort nachweisbar und lokalisierbar ist. In diesen Fällen soll über den Vergleich mit der zeitgleich zu ermittelnden Außenluftbelastung die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer Quelle für Schimmelpilzsporen im beprobten Innenraum ermittelt werden ^[1].

Auf die *konkrete* gesundheitliche Gefährdung der Nutzer von Schimmelpilz-belasteten Räumlichkeiten wird in der Praxis der Begutachtung von Problemen der Innenraumlufthygiene in aller Regel nicht näher eingegangen, obschon allgemein akzeptiert wird, dass vor allem chronische Belastungen der Atemluft durch Schimmelpilzsporen tatsächlich die unterschiedlichsten Erkrankungen beim Menschen auslösen können. Dies führt in der Kommunikation mit den Betroffenen – in der Regel also den Nutzern entsprechender Räume – häufig zu Problemen.

Analog zur Vorgehensweise z.B. bei der Bewertung von Raumluftkontaminationen durch flüchtige organische Verbindungen (VOC) könnte die Möglichkeit zur Abgrenzung von „außergewöhnlichen“ Belastungssituationen gegenüber den „gewöhnlichen“ Raumluftkontaminationen der Innenraumluft durch Schimmelpilzsporen an dieser Stelle ein hilfreiches Mittel in der Bewertung gefundener Belastungen sein. Eine solche Vorgehensweise nach „Auffälligkeitswerten“ erlaubt innerhalb eines u.a. jüngst von der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden vorgestellten hierarchisch gegliederten Bewertungskonzeptes unterhalb der Ebene toxikologisch

abgeleiteter Richtwerte^[2] neben einer Aussage zur Wahrscheinlichkeit eine Schimmelpilzquelle im Innenraum auch eine Einschätzung zur Dringlichkeit des Handlungsbedarfes.

Grundlage für solche statistischen Ableitungen sind Datenpools mit möglichst großer Fallzahl aus Querschnittstudien zur Belastungssituation der Innenraum- oder der Außenluft. Während in der Vergangenheit zu über Impaktion^[3] bestimmten Innenraumluftbelastungen bereits eine einige Veröffentlichungen entsprechender Datenpools samt statistischer Auswertung erschienen sind^[4] ist die Datenlage für über Filtration^[5] bestimmte Innenraumluftbelastungen bislang eher unbefriedigend. Dies führt unserer Erfahrung nach in der Praxis auch dazu, dass die Wahrnehmung der Innenraumluftmessung auf keimfähige Schimmelpilzsporen und Hefen über Verfahren der Filtration in der Praxis gegenüber den Bestimmungen über Impaktion mehr und mehr in den Hintergrund tritt, obschon beide Verfahren im Vergleich Vor- und Nachteile aufweisen^[6].

Im Rahmen dieses Beitrages möchten wir die verfügbaren Bewertungsgrundlagen für Ergebnisse aus Innenraum- und Außenluftmessung erweitern, indem wir die hohe Zahl von Ergebnissen aus Innenraumluft- und Außenluftmessung von keimfähigen Schimmelpilzsporen und Hefen, welche das Bremer Umweltinstitut im Laufe der letzten Jahre im Zuge von Auftragsarbeiten sammeln konnte, samt einer statistischen Auswertung zu Auffälligkeitswerten und Art der Verteilung vorstellen und die Ergebnisse mit einigen Daten zu Messungen über Impaktion vergleichen.

2. Methode

Die Luftuntersuchungen erfolgten fast ausschließlich im Nordwesten Deutschlands in den Bundesländern Bremen, Niedersachsen und Hamburg im Zeitraum im Zeitraum von Januar 2001 bis Mai 2007. Bei den beprobten Innenräumen handelt es sich um privat genutzte Innenräume oder Büroarbeitsplätze mit und ohne Anfangsverdacht auf Schimmelpilzbelastungen. Die Gesamtfallzahl der Innenraumluftmessungen beläuft sich auf $n = 562$.

Mit wenigen Ausnahmen wurden die Außenluftmessungen jeweils parallel zur Innenluftmessung durchgeführt; bei anhaltendem Regen erfolgten in der Regel keine Außenluftmessungen. Die Auswertung der Außenluftmessungen erfolgte bislang für die Messungen zwischen Januar 2001 und November 2005, die Fallzahl beträgt hier $n = 210$.

Die Luftproben wurden nach VDI 4252 Blatt 2 entnommen. Bei diesem Verfahren wird eine definierte Luftmenge mittels einer Pumpe (PNA 384, Herst. APC) durch einen Filter (Doppelfilter aus Polycarbonat als Stützfilter und Gelatine als Sammelfilter) gesaugt. Die Filter wurden in GSP-Sammelköpfe eingelegt. Die Probenahme erfolgte jeweils über 1 h. Das Probenahmenvolumen variierte zwischen 210 Litern (bis Okt. 2005) und 594 Litern (ab Nov. 2005); die Nachweisgrenzen der Luftuntersuchungen liegen demzufolge bis Okt. 05 bei 24 KBE/m³ und ab Nov. 05 bei 8 KBE/m³.

Die Innenräume wurden jeweils acht bis zwölf Stunden vor dem Beginn der Probenahme letztmals stoßgelüftet und von diesem Zeitpunkt an bis zum Ende der Probenahme verschlossen gehalten. Falls die Räume in diesem Zeitraum nicht genutzt wurden erfolgte vor dem Beginn der Probenahme eine Nutzungssimulation. Nutzerseitige Aktivitäten mit einem hohen Staubfreisetzungspotential wie z.B. Staubsaugen wurden für den beschriebenen Zeitraum unterbunden. Die Auswertung der Proben erfolgte durch das eco Institut in Köln; die Proben erreichten das Labor i.d.R. jeweils spätestens 24 h nach Ende der Probenahme. Die Kultivierung erfolgten nach Entwurf VDI 4300, Blatt 10. Die Proben wurden auf alle kultivierbaren Schimmelpilzsporen und Hefen gemäß VDI 4253 Blatt 2 ausgewertet.

3. Ergebnisse

Aus den Darstellungen in den Ta. 1 u. 2 ist ablesbar, dass in Innenräumen nur ca. ein Fünftel der Gattungen und Arten mit mehr als 20%-iger Häufigkeit nachgewiesen werden können.

	Art / Gattung	Erfolgte Nachweise	% (n = 562)	Art / Gattung	Erfolgte Nachweise	% (n = 562)	
Dominant	Penicillium sp.	453	80,6	Penicillium rugulosum	9	1,6	Selten
	Aspergillus sp.	410	73,0	Penicillium digitatum	8	1,4	
	Cladosporium sp.	380	67,6	Trichoderma citrinoviride	8	1,4	
	Unbestimmte Schimmelpilzspezies	286	51,0	Ulocladium sp.	8	1,4	
	Aspergillus versicolor	286	51,0	Penicillium roquefortii	7	1,2	
	Penicillium chrysogenum	176	31,4	Ulocladium chartarum	7	1,2	
	Cladosporium herbarum	171	30,5	Thysanophora penicillioides	6	1,1	
	Penicillium aurantiogriseum Komplex	171	30,5	Aspergillus flavus	5	0,9	
	Hefen	165	29,4	Mucor racemosus	5	0,9	
	Aspergillus penicillioides	163	29,1	Stachybotrys chartarum	5	0,9	
	Wallemia sebi	153	27,3	Verticillium sp.	5	0,9	
	Penicillium brevicompactum	139	24,8	Mucor plumbeus	4	0,7	
	Cladosporium macrocarpum	120	21,4	Aspergillus melleus	3	0,5	
	Sterile Myzelien	118	21,0	Aureobasidium pullulans	3	0,5	
	Gelegentlich	Penicillium glabrum	102	18,2	Penicillium crustosum	3	
Aspergillus restrictus		75	13,4	Phialophora sp.	3	0,5	
Eurotium herbariorum		70	12,5	Rhizopus stolonifer	3	0,5	
Aspergillus fumigatus		63	11,2	Trichoderma harzianum	3	0,5	
Cladosporium cladosporioides		47	8,4	Aspergillus clavatus	2	0,4	
Botrytis cinerea		46	8,2	Byssosclamyces nivea	2	0,4	
Penicillium olsonii		38	6,8	Doratomyces sp.	2	0,4	
Aspergillus candidus		35	6,2	Epicoccum nigrum	2	0,4	
Penicillium variabile		29	5,2	Geomyces pannorum	2	0,4	
Penicillium corylophilum		28	5,0	Paecilomyces marquandii	2	0,4	
Aspergillus sydowii		27	4,8	Penicillium purpurogenum	2	0,4	
Aspergillus unguis		27	4,8	Phialophora fastigiata	2	0,4	
Chaetomium globosum		27	4,8	Scopulariopsis brumptii	2	0,4	
Eurotium amstelodami		26	4,6	Scopulariopsis candida	2	0,4	
Scopulariopsis sp.		26	4,6	Syncephalastrum racemosum	2	0,4	
Selten	Aspergillus ustus	25	4,5	Verticillium lecanii	2	0,4	
	Cladosporium sphaerospermum	25	4,5	Aspergillus tamarii	1	0,2	
	Penicillium citrinum	25	4,5	Aspergillus terreus	1	0,2	
	Penicillium expansum	23	4,1	Aspergillus wentii	1	0,2	
	Acremonium	21	3,7	Beauveria bassiana	1	0,2	
	Eurotium chevalieri	19	3,4	Curvularia geniculata	1	0,2	
	Aspergillus niger	18	3,2	Emericella nidulans	1	0,2	
	Geotrichium candidum	17	3,0	Geotrichium sp.	1	0,2	
	Paecilomyces sp.	17	3,0	Moniliella sp.	1	0,2	
	Trichoderma sp.	17	3,0	Mucor circinelloides	1	0,2	
	Engyodontium album	16	2,9	Penicillium camemberti	1	0,2	
	Penicillium italicum	16	2,9	Penicillium funiculosum	1	0,2	
	Aspergillus (Emericella) nidulans	15	2,7	Penicillium griseofulvum	1	0,2	
	Mucor sp.	15	2,7	Penicillium hirsutum	1	0,2	
	Alternaria sp.	12	2,1	Penicillium nalgiovense	1	0,2	
	Aspergillus ochraceus	12	2,1	Penicillium restrictus	1	0,2	
	Fusarium sp.	12	2,1	Penicillium verrucosum	1	0,2	
	Aspergillus glaucus	11	2,0	Penicillium versicolor	1	0,2	
	Eurotium rubrum	11	2,0	Rhizopus oryzae	1	0,2	
	Paecilomyces variotii	10	1,8	Scopulariopsis fusca	1	0,2	
	A. alternata	9	1,6	Trichoderma viride	1	0,2	
	Chrysonilia sitophila	9	1,6				

Tab. 1: Nachgewiesene Arten bzw. Gattungen, Anzahl der Nachweise pro Art bzw. Gattung und der prozentuale Anteil der Nachweise pro Art bzw. Gattung an der Summe aller Untersuchungen (n = 562) in den *Innenraumlufuntersuchungen*

Ca. zwei Drittel der in den Messungen jeweils insgesamt gefundenen Arten kommen hingegen seltener als in jeder zwanzigsten Probe (< 5 %) vor.

Der Vergleich der Häufigkeit der Arten in der Außen- wie der Innenraumluft (Tab. 3) lässt Rückschlüsse auf eher für Innenraumluft- oder eher für Außenluftnachweise typische Arten zu. Die Einschätzung von *Aspergillus versicolor* als „typischem Innenraumluftpilz“ mit hoher Indikation für einen bauseitigen Schimmelpilzbefall lässt sich an Hand der hier vorliegenden Daten gut nachvollziehen; er wird in der Innenraumluft fünfmal häufiger nachgewiesen als in der Außenluft.

	Art / Gattung	Erfolgte Nachweise	% (n = 210)	Art / Gattung	Erfolgte Nachweise	% (n = 210)	
Dominant	<i>Cladosporium</i> sp.	166	79,0	<i>Chaetomium</i> sp.	4	1,9	Selten
	Unbestimmte Schimmelpilze	152	72,4	<i>Epicoccum nigrum</i>	4	1,9	
	<i>Penicillium</i> sp.	138	65,7	<i>Penicillium citrinum</i>	4	1,9	
	Asp. sp.	100	47,6	<i>Penicillium roquefortii</i>	4	1,9	
	<i>Cladosporium marcocarum</i>	90	42,9	<i>Ulocladium</i> sp.	4	1,9	
	Hefen	85	40,5	<i>Chaetomium globosum</i>	3	1,4	
	<i>Cladosporium herbarum</i>	83	39,5	<i>Chrysonilia</i> sp.	3	1,4	
	Sterile Myzelien	76	36,2	<i>Ulocladium chartarum</i>	3	1,4	
	<i>Botrytis</i> sp.	52	24,8	<i>Acremonium</i> sp.	2	1,0	
	<i>Botrytis cinerea</i>	51	24,3	<i>Chrysonilia sitophila</i>	2	1,0	
Gelegentlich	<i>Aspergillus fumigatus</i>	46	21,9	<i>Doratomyces</i> sp.	2	1,0	Ungewöhnlich
	<i>Eurotium</i> sp.	43	20,5	<i>Mucor</i> sp.	2	1,0	
	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	35	16,7	<i>Paecilomyces</i> sp.	2	1,0	
	<i>Penicillium brevicompactum</i>	34	16,2	<i>Penicillium crustosum</i>	2	1,0	
	<i>Penicillium aurantiogriseum</i> Komplex	33	15,7	<i>Penicillium digitatum</i>	2	1,0	
	<i>Wallemia sebi</i>	30	14,3	<i>Penicillium olsonii</i>	2	1,0	
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	26	12,4	<i>Rhizopus stolonifer</i>	2	1,0	
	<i>Aspergillus versicolor</i>	23	11,0	<i>Scopulariopsis candidus</i>	2	1,0	
	<i>Alternaria</i> sp.	22	10,5	<i>Aspergillus sydowii</i>	1	0,5	
	<i>Aspergillus penicillioides</i>	19	9,0	<i>Aspergillus unguis</i>	1	0,5	
Selten	<i>Penicillium glabrum</i>	18	8,6	<i>Byssoschlamys nivea</i>	1	0,5	
	<i>Alternaria alternata</i>	17	8,1	<i>Emericella nidulans</i>	1	0,5	
	<i>Fusarium</i> sp.	11	5,2	<i>Engyodontium album</i>	1	0,5	
	<i>Aspergillus restrictus</i>	10	4,8	<i>Mucor hiemalis</i>	1	0,5	
	<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	9	4,3	<i>Paecilomyces variotii</i>	1	0,5	
	<i>Aspergillus niger</i>	8	3,8	<i>Penicillium camemberti</i>	1	0,5	
	<i>Penicillium expansum</i>	8	3,8	<i>Penicillium corylophilum</i>	1	0,5	
	<i>Penicillium variabile</i>	6	2,9	<i>Penicillium griseofulvum</i>	1	0,5	
	<i>Aspergillus glaucus</i> Gr.	5	2,4	<i>Penicillium hirsutum</i>	1	0,5	
	<i>Scopulariopsis</i> sp.	5	2,4	<i>Penicillium purpurogenum</i>	1	0,5	
<i>Aspergillus (Emericella) nidulans</i>	4	1,9	<i>Phialophora</i> sp.	1	0,5		
<i>Aspergillus candidus</i>	4	1,9	<i>Scopulariopsis fusca</i>	1	0,5		
<i>Aspergillus flavus</i>	4	1,9	<i>Thysanophora penicillioides</i>	1	0,5		

Tab. 2: Nachgewiesene Arten bzw. Gattungen, Anzahl der Nachweise pro Art bzw. Gattung und der prozentuale Anteil der Nachweise pro Art bzw. Gattung an der Summe aller Untersuchungen (n = 210) in den *Außenluftuntersuchungen*

Ähnliches kann – bei insgesamt jedoch niedrigeren Häufigkeiten in den Innenraumluftnachweisen gegenüber *A. versicolor* – z.B. auch für *Aspergillus penicillioides* und *Penicillium chrysogenum* festgestellt werden, welche beide ungefähr dreimal häufiger in Innenraumluftproben gefunden werden können als in Außenluftproben.

Auf der andere Seite scheinen *Botrytis cinera* (dreimal so häufig), *Cladosporium macrocarpum*, *Cladosporium cladosporioides* und *Aspergillus fumigatus* (jeweils doppelt so häufig) eher typisch für Außenluftnachweise zu sein.

Interessanterweise kommt *Cladosporium herbarum* als Vertreter der Gattung *Cladosporium*, welche häufig generell als „typisch für Außenluftnachweise“ eingestuft wird, nicht signifikant häufiger außen als innen vor.

Von den Schimmelpilzarten, welche z.B. im sogenannten „Schimmelpilzleitfaden“ des Umweltbundesamtes als „untypische Außenluftarten“ definiert werden, können solche der Gattungen *Acremonium*, *Chaetomium*, *Phialophora*, *Scopulariopsis*, *Stachybotris*, *Tritirachium* und *Trichoderma* so selten über die beschriebenen Innenraumluftmessungen nachgewiesen werden, dass sie für die Bewertung von Innenraumquellen eher selten eine Hilfe sein dürften.

Art bzw. Gattung	Prozentualer Anteil an den Außenluftnachweisen (n = 210)	Prozentualer Anteil an den Innenluftnachweisen (n = 562)
<i>Cladosporium</i> sp.	79	67,6
<i>Penicillium</i> sp.	65,7	80,6
<i>Aspergillus</i> sp.	47,6	73
<i>Cladosporium macrocarpum</i>	42,9	21,4
Hefen	40,5	29,4
<i>Cladosporium herbarum</i>	39,5	30,5
Sterile Myzelien	36,2	21
<i>Botrytis</i> sp.	24,8	8,2
<i>Botrytis cinerea</i>	24,3	8,2
<i>Aspergillus fumigatus</i>	21,9	11,2
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	16,7	8,4
<i>Penicillium brevicompactum</i>	16,2	24,8
<i>Penicillium aurantiogriseum</i> Komplex	15,7	30,5
<i>Wallemia sebi</i>	14,3	27,3
<i>Penicillium chrysogenum</i>	12,4	31,4
<i>Aspergillus versicolor</i>	11	51
<i>Aspergillus penicillioides</i>	9	29,1
<i>Penicillium glabrum</i>	8,6	18,2
<i>Aspergillus restrictus</i>	4,8	13,4

Tab. 3: Gegenüberstellung der jeweiligen prozentualen Häufigkeit des Nachweises bestimmter Arten bzw. Gattungen jeweils in den Ergebnissen der Außenluftmessung sowie der Innenraumluftmessungen (Auswahl).

Die Ableitung von Median-, Maximal- und 90-Perzentil-Werten aus den Ergebnissen der Innenraumluftmessungen (s. Tab. 5) zeigt, dass im Gattungsbereich wie auch bei einigen Arten klare jahreszeitliche Abhängigkeiten in der Höhe dieser Werte bestehen.

Vor allem die Veränderungen in den Median- und 90-Perzentilwerten deuten auf unterschiedlich starkes Auftreten in Abhängigkeit der Jahreszeit hin. So zeigen die Gattung *Aspergillus* wie auch die beiden Arten *A. penicillioides* und *A. versicolor* in den Sommermonaten deutlich höhere Median- und 90-Perzentilwerte als dies in den Wintermonaten der Fall ist; ähnlich stellt sich die Datenlage für die Hefen dar.

Für die Vertreter der Gattung *Cladosporium* ist ein umgekehrter Trend festzustellen; der Medianwert der Belastungshöhe wie auch der zugehörige 90-Perzentil-Wert liegen im Winter deutlich unterhalb des Niveaus der „Sommermessungen“. Innerhalb der Gattung *Penicillium* zeigt

sich ein uneinheitlicher Trend: die beiden häufig nachgewiesenen Arten *P. brevicompactum* und *P. chrysogenum* zeigen im Median- wie im 90-Perzentilwert keine wesentliche Abhängigkeit von der Jahreszeit, wohingegen im Summenwert für die Nachweise der Gattung *Penicillium* für die Wintermonate deutlich höhere Median- und 90-Perzentilwerte für die Innenraumluft nachgewiesen werden konnten.

Art	<i>Innenluft</i>			Sommer			Winter			Gesamtjahr		
	Med.	90-Perz.	Max.	Med.	90-Perz.	Max.	Med.	90-Perz.	Max.	Med.	90-Perz.	Max.
<i>Aspergillus versicolor</i>	24	1.100	95.000	97	4.000	38.000	48	1.500	95.000			
<i>Aspergillus penicillioides</i>	<NWG	380	18.000	<NWG	500	16.429	<NWG	280	18.000			
<i>Aspergillus</i> sp.	48	3.780	51.200	48	1.924	51.200	72	3.097	140.000			
<i>Cladosporium herbarum</i>	<NWG	95	790	<NWG	48	333	<NWG	71	790			
<i>Cladosporium macrocarpum</i>	<NWG	71	520	<NWG	24	170	<NWG	48	520			
<i>Cladosporium</i> sp.	78	805	9.880	13	190	3.300	42	480	9.880			
<i>Penicillium aurantiogriseum</i> Komplex	<NWG	48	2.100	<NWG	48	670	<NWG	48	2.100			
<i>Penicillium brevicompactum</i>	<NWG	71	1.500	<NWG	59	1.500	<NWG	71	1.500			
<i>Penicillium chrysogenum</i>	<NWG	116	57.000	<NWG	95	11.200	<NWG	100	57.000			
<i>Penicillium</i> sp.	39	740	64.100	75	1.200	48.000	65	884	64.100			
<i>Wallemia sebi</i>	<NWG	71	12.000	<NWG	48	14.000	<NWG	50	14.000			
Hefen	<NWG	95	360	<NWG	24	2.048	<NWG	58	2.048			
Summe Schimmelpilze und Hefen	520	5.180	142.400	220	5.610	72.000	330	5.570	142.400			

Tab. 5: Median-, 90-Perzentil und Maximalwerte („Med.“, „90-Perz.“ und „Max.“) der 562 Innenraumluftmessungen, aufgeschlüsselt für die häufigsten Arten bzw. Gattungen und unterschieden nach den jeweiligen Jahreszeiten (Sommer n = 232, Winter n = 330). NWG = Nachweisgrenze

Die Ableitung des Median-, des 90-Perzentil- wie des Maximalwertes aus den Ergebnissen der hier berücksichtigten Außenluftmessungen resultiert nur für Schimmelpilze der Gattung *Cladosporium* sowie für die Hefen in jahreszeitlich bedingt deutlich unterschiedlichen Werten. Doch auch die Gesamtkonzentration der nachgewiesenen keimfähigen Schimmelpilzsporen und Hefen weist einen klaren jahreszeitlichen Trend mit einer Belastungsabnahme im Winter auf.

Art	<i>Außenluft</i>			Sommer			Winter			Gesamtjahr		
	Med.	90-Perz.	Max.	Med.	90-Perz.	Max.	Med.	90-Perz.	Max.	Med.	90-Perz.	Max.
<i>Aspergillus versicolor</i>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
<i>Aspergillus penicillioides</i>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
<i>Aspergillus</i> sp.	<NWG	117	2.432	<NWG	144	6.797	<NWG	142	6.797			
<i>Cladosporium herbarum</i>	<NWG	310	830	<NWG	112	1.000	<NWG	221	1.000			
<i>Cladosporium macrocarpum</i>	<NWG	290	1.300	<NWG	71	310	<NWG	177	1.300			
<i>Cladosporium</i> sp.	328	2.952	13.000	37	950	3.160	96	1.900	13.000			
<i>Penicillium aurantiogriseum</i> Komplex	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
<i>Penicillium brevicompactum</i>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
<i>Penicillium chrysogenum</i>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
<i>Penicillium</i> sp.	<NWG	140	4.900	<NWG	167	476	<NWG	145	4.900			
<i>Wallemia sebi</i>	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
Hefen	<NWG	143	570	<NWG	71	950	<NWG	120	950			
Summe Schimmelpilze und Hefen	739	3.780	14.000	285	1.460	3.900	429	2.220	14.000			

Tab. 6: Median-, 90-Perzentil und Maximalwerte („Med.“, „90-Perz.“ und „Max.“) der 210 ausgewerteten Außenluftmessungen, aufgeschlüsselt für die einzelnen Arten bzw. Gattungen und unterschieden nach den jeweiligen Jahreszeiten (Sommer n = 232, Winter n = 330). NWG = Nachweisgrenze, n.b. = nicht bestimmt (auf Grund geringer Datenmenge)

Über die Bestimmung von Median- und 90-Perzentil-Werten hinaus erfolgte exemplarisch an einigen Datensätzen von Innenraumluft- und Außenluftmessungen nach Erstellung eines Histogramms in halblogarithmischer Darstellung graphisch auch Dichteschätzungen mit jeweils unterschiedlich starker Glättung der extrapolierten Verteilungsfunktion (vgl. Abb. 1 bis 4).

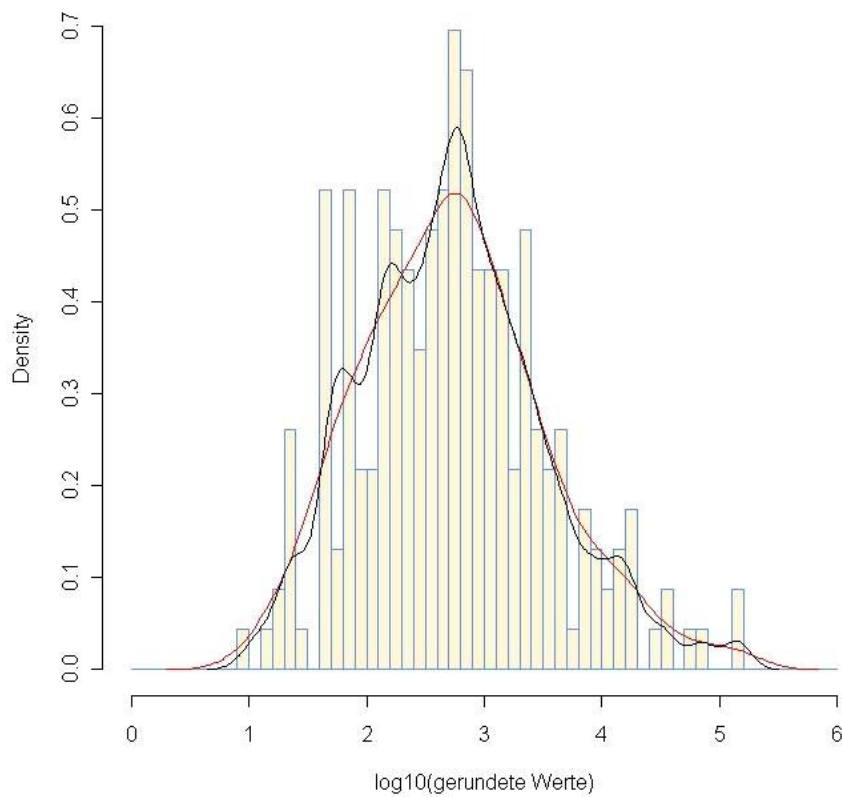


Abb. 1: Dichteschätzung der Daten der *Innenraumlftmessungen im Sommer* mit zwei unterschiedlich starken Glättungen

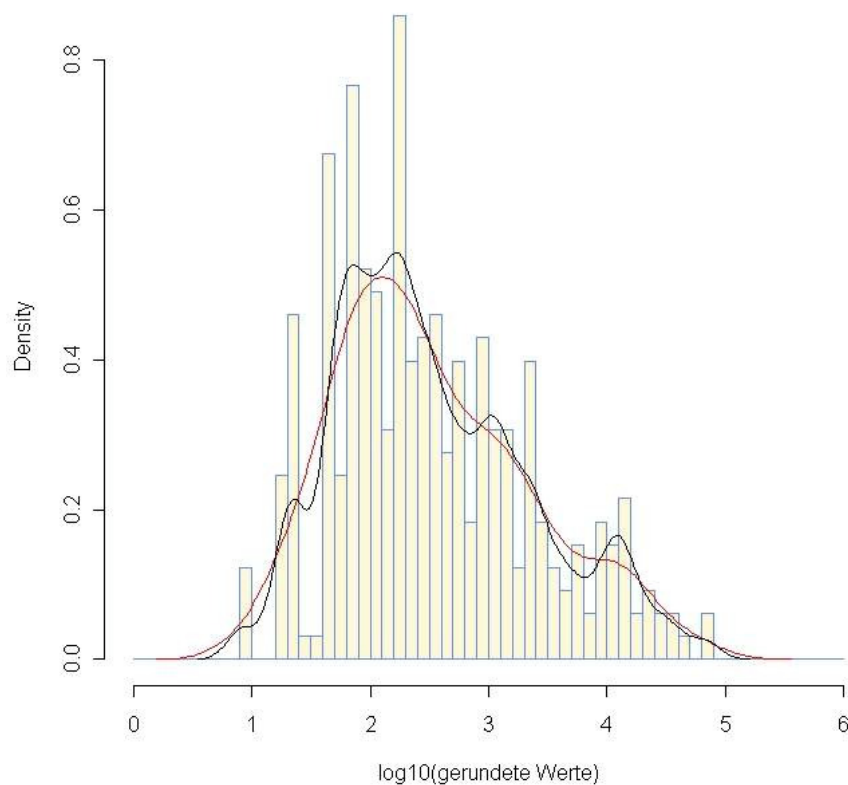


Abb. 2: Dichteschätzung der Daten der *Innenraumlftmessungen im Winter* mit zwei unterschiedlich starken Glättungen

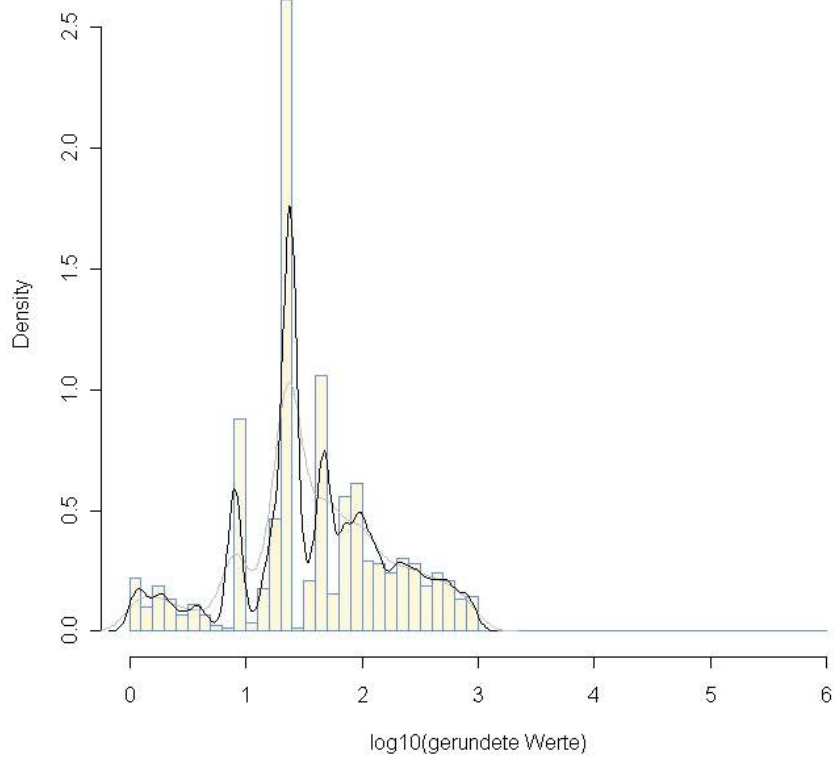


Abb. 3: Dichteschätzung der Daten der *Außenluftmessungen im Sommer* mit zwei unterschiedlich starken Glättungen

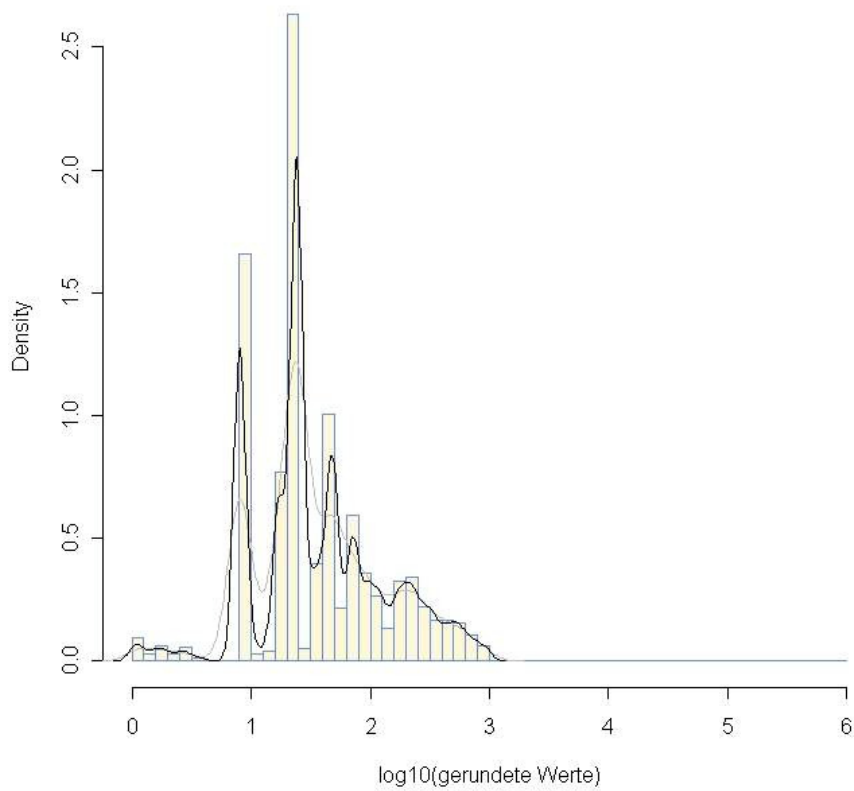


Abb. 4: Dichteschätzung der Daten der *Außenluftmessungen im Winter* mit zwei unterschiedlich starken Glättungen

4. Diskussion

Die hier vorgestellten Daten samt ihrer Auswertung verfolgen zunächst das Ziel, dem Gutachter zu raumlufthygienischen Fragestellungen zu ermöglichen, im Zusammenhang mit Schimmelpilzbelastungen die aus Einzelmessungen generierten Daten durch den Vergleich mit einer großen Datensammlung von Innenraumluft- und Außenluftmessungen einzuordnen.

Es kann dabei sehr deutlich unterschieden werden zwischen Arten, welche in der Innenraumluft häufig nachgewiesen werden, und solchen, deren Nachweis eher typisch für die Außenluft ist; gleichzeitig zeigt sich gerade für einige Schimmelpilze, welche gemeinhin als „typisch“ für Innenraum- oder Außenluftmessung erachtet werden, dass sie insgesamt nur so selten nachgewiesen werden können, dass ein Nachweis in der Praxis als „ungewöhnlich“ bezeichnet werden muss. Eventuell ist im Fall eines Nachweises eines solchen „seltenen“ Schimmelpilzes sogar ein zusätzlicher Verdachtsmoment für eine „besondere Befallssituation“, ggf. für einen Befall im Innenraum, gegeben.

Die Reihenfolge der drei häufigsten Gattungsnachweise in der Innenraumluft (Tab. 1) entspricht den Erwartungen; ebenso konnte davon ausgegangen werden, dass sich dieses Bild für die Nachweise in der Außenluft (Tab. 2) zu Gunsten der Gattungen *Cladosporium* und *Penicillium* bzw. zu Ungunsten der Gattung *Aspergillus* als eher wärmeliebenden Schimmelpilzen verschiebt.

Die im sogenannten „Schimmelpilzleitfaden“ des Umweltbundesamtes als „untypische Außenluftgattungen“ *Acremonium*, *Chaetomium*, *Phialophora*, *Scopulariopsis*, *Stachybotris*, *Tritirachium* und *Trichoderma* beschriebenen Schimmelpilze konnten insgesamt so selten nachgewiesen werden, dass sie zwar in der überwiegenden Zahl der Fälle nicht für eine Bewertung zur Verfügung stehen, deren Nachweis im Einzelfall dann aber erst Recht Anlass für verstärkte weitere Untersuchungen / Maßnahmen zur Quellenlokalisierung geben könnte.

Vergleicht man die ermittelten Median-Werte mit solchen aus Serien von Impaktionsnachweisen^[4], so sind die hier gefundenen Werte in der Regel deutlich größer. Der aus den Daten unserer Innenraumluftmessungen abgeleitete 90-Perzentil-Wert liegt durchweg höher als die aus Impaktion bestimmten 95(!)-Perzentil-Werte.

Der Grund hierfür muss jedoch nicht in methodisch bedingten Diskriminierungen oder Überbefunden begründet liegen, sondern wird sicherlich stark durch die Vorauswahl der beprobten Innenräume beeinflusst werden.

In die hier erfassten Daten gingen Innenraumluftmessungen auch aus solchen Fällen ein, in denen Schimmelpilzbefall klar ersichtlich war. Vermutlich ist der Anteil solcher Innenräume mit offensichtlicher relevanter Schimmelpilzbefallssituation auf Grund der speziellen Beauftragungssituation zur Durchführung von Messungen in diesem Datenpool höher als dies im Verhältnis zur Gesamtheit der privat genutzten Innenräume der Fall wäre; die offensichtlichen Befallssituationen sind in diesem Datenpool aller Wahrscheinlichkeit nach überrepräsentiert, dies muss besonders bei der Betrachtung der hier vorgestellten Median- und 90-Perzentil-Werte berücksichtigt werden.

Gleichzeitig möchten wir im Gegenzug eine Diskussion darüber anregen, inwieweit eine Vorauswahl, bei der „offensichtlicher Befall“ in Innenräumen zu einem Ausschluss aus dem Datenpool führt – bzw. bei der nur Innenräume berücksichtigt werden, welche „keine erkennbaren Schimmelpilzschäden“ aufweisen – nicht ebenfalls zu einer unzulässigen Verzerrung der hieraus abgeleiteten statistischen Kenngrößen führt, weil Innenräume mit Befallssituationen hierbei unterrepräsentiert wären.

Häufig wird diese Vorgehensweise begründet mit dem Hinweis darauf, dass eine Innenraumluftmessung in einer „offensichtlichen Befallssituation“ ohnehin nicht notwendig sei. Dies ist an sich nachvollziehbar, setzt allerdings voraus, dass relevante Sporenfreisetzung in Innenräumen in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle aus „offensichtlichen“ intramuralen Quellen stammen und der Anteil des „versteckten“ Schimmelpilzbefalls zu vernachlässigen ist. Dies entspricht jedoch nicht den Erfahrungen aus der Begehungspraxis des Bremer Umweltinstitutes.

Neben der Frage nach der Auswahl der in den Pool eingehenden Daten wurde nach unserem Eindruck bei der statistischen Ableitung von Orientierungswerten wie dem Median- oder 90-Perzentil-Wert aus den Ergebnissen von Reihenuntersuchungen von Außen- und Innenraumluft noch nie überprüft, inwieweit die Verteilung der Daten im konkreten Fall tatsächlich einer einheitlichen Verteilung der selben Grundgesamtheit entstammt, was eigentlich Voraussetzung für die Ableitung von Median- und 90- bzw. 95-Perzentil-Werten wäre.

In einem ersten Schritt zur Überprüfung dieser Vorannahme kann die halblogarithmische Darstellung eines aus Teilmengen des Datenpools generierten Histogramms sowie die Extrapolation dessens Verlauf bei verschiedener Glättung Aufschluss darüber geben, ob es sich tatsächlich um eine Verteilung mit nur einem Maximum handelt.

Zur Drucklegung dieses Tagungsbandes war mit den entsprechenden Arbeiten erst begonnen worden, so dass auf erste Ergebnisse eingegangen werden kann. Betrachtet man allerdings den Verlauf der Histogramme in den Abbildungen 1 bis 4 bzw. deren entsprechend geglätteter Extrapolation, so ist zum Beispiel für die Abb. 3 und 4 (Summe Schimmelpilze und Hefen in der Außenluft jeweils im Sommer wie im Winter) sehr deutlich eine Kurve mit mehreren distinkten Maxima statt der erwarteten mehr oder weniger „schiefen“ Verteilung mit nur einem Maximum zu erkennen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass der dargestellte Datenpool nicht einer einzigen (Normal-)Verteilung unterliegt, sondern dass er vielmehr durch mehrere Verteilungen unterschiedlicher Zustände/Situationen bestimmt wird. Zur Absicherung dieser Vermutung sind vergleichsweise aufwendige mathematische Berechnungen notwendig, welche derzeit noch durchgeführt werden.

Die in Abb. 3 und 4 erkennbare mehrgipfelige Verteilung ist vermutlich das Resultat unterschiedlicher Zustände bzw. Belastungssituationen der Außenluft (klimatisch bedingt, bedingt durch Abstand zur Quelle oder ähnliches).

Bei einem Vergleich der in Tab. 6 dargestellten 90-Perzentil-Werte mit dem Verlauf der Dichteschätzungen in Abb. 3 und 4 wird deutlich, dass die 90-Perzentil-Werte nicht in einen sinnvollen Zusammenhang mit dem Verlauf der Dichteschätzungskurven zu bringen sind.

Ob sich solche Phänomene auch deutlich in den Daten zu den Innenraumluftmessungen nachweisen lassen, wird Gegenstand weiterer Arbeiten sein.

Sollte auch die Belastung der Innenluft durch Schimmelpilze tatsächlich das Resultat aus mehreren einander überlagernden Verteilungen sein (s.o.), so kann die Abscheidung „auffälliger“ Belastungssituation von durchschnittlichen Belastungen in Zukunft nicht mehr über 90- oder 95-Perzentil-Werte erfolgen. Vielmehr müssten dann die Grenzen zwischen den einzelnen Verteilungen zur Kategorisierung gefundener Belastungshöhen verwendet werden.

6.Literatur

^[1] Umweltbundesamt (2002): Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Eigenverlag, Berlin

^[2] Handreichung der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden: Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. BundesgesundhBl 7 (2007), S. 990 - 1005

^[3] Entwurf der VDI 4300 Blatt 10, Juni 2006

^[4] C. TRAUTMANN, T. GABRIO, I. DILL, U.WEIDNER, C. BAUDISCH: Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilzen in der Luft – Erhebung von Schimmelpilzkonzentrationen in Wohnungen ohne bekannte Schimmelpilzschäden in 3 Regionen Deutschlands. BundesgesundhBl 48 (2005), S. 29/35

^[5] VDI 4252, Blatt 2

^[6] Entwurf VDI 4300, Blatt 10 (2005)