

Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertung der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA

A. Kolk, R. Van Gelder, G. Schneider, S. Gabriel

Zusammenfassung Zur Bewertung von Messergebnissen der Konzentration biologischer Arbeitsstoffe dient, anders als für Gefahrstoffe, meist der Vergleich mit Referenzwerten. Bei Luftproben werden üblicherweise die in der Außenluft vorhandenen natürlichen Hintergrundkonzentrationen von Mikroorganismen oder ihren Bestandteilen als Referenz herangezogen. Die Literatur enthält vorrangig Angaben zu Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft, während Informationen zu Bakterienkonzentrationen in deutlich geringerem Maße vorliegen und solche zu Endotoxinkonzentrationen weitgehend fehlen. Die Daten aus der Expositionsdatenbank MEGA (Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz) des BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung schließen diese Informationslücke. Sie geben einen Überblick über Schimmelpilz-, Bakterien- und Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft an verschiedenen Messorten in der Bundesrepublik Deutschland. Aus einem Zeitraum von acht Jahren wurden insgesamt $n = 1\,072$ Ergebnisse ausgewertet.

Microbiological background values in outdoor air: an analysis of the BGIA's MEGA exposure database

Abstract For the purpose of assessing concentrations of biological agents measured at workplaces, comparison with reference values is generally sufficient, in contrast to the situation for hazardous substances. In atmospheric samples, the natural background concentrations of microorganisms or their constituents present in the outdoor air are generally employed for reference purposes. The literature primarily contains data on mould fungi concentrations in outdoor air; the available information on bacteria concentrations is much more limited, and on endotoxin concentrations virtually non-existent. This information gap is closed by the data contained in the MEGA database (of measured data relating to exposure to hazardous substances at the workplace), which is maintained by the BGIA – Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance. These data provide an overview of mould fungi, bacteria and endotoxin concentrations in the outdoor air at various measurement points in Germany. A total of $n = 1,172$ results over a period of eight years were analysed.

1 Einleitung

Anders als bei der Messung von Gefahrstoffen gibt es für biologische Arbeitsstoffe keine Richt- oder Grenzwerte, mit denen Messergebnisse vergleichend beurteilt werden können. Stattdessen werden Ergebnisse aus mikrobiologischen Messungen an Arbeitsplätzen meist durch den Vergleich mit Referenzwerten bewertet. Als Referenz für Luftproben dienen üblicherweise die in der Außenluft am Tag der Arbeitsplatzmessung (**Bild 1**) vorhandenen natürlichen Hintergrundkonzentrationen an Mikroorganismen oder ihrer Bestandteile unter den jeweils herrschenden klimatischen und jahreszeitlichen Bedingungen.

Dr. rer. nat. Annette Kolk, Dipl.-Chem. Rainer Van Gelder, Dipl.-Biol. Gerd Schneider, Stefan Gabriel,

BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin.



Bild 1. Außenluftmessung von biologischen Arbeitsstoffen.



Das Messsystem der Unfallversicherungsträger zur Gefährdungsermittlung – BGMG dient der Ermittlung und Dokumentation aussagekräftiger Messdaten sowie der zugehörigen Betriebsdaten über Expositionen am Arbeitsplatz. Es wird durch einen arbeitsteiligen Verbund aus dem BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung und den Messtechnischen Diensten der gesetzlichen Unfallversicherungsträger getragen. Die ermittelten Daten dienen den Unfallversicherungsträgern für die Prävention, Rehabilitation und Epidemiologie sowie für Ermittlungen im Zusammenhang mit angezeigten Fällen von Berufskrankheiten. Alle im BGMG erhobenen Daten werden im BGIA in der Expositionsdatenbank MEGA „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ zusammengeführt und dokumentiert. Gefahrstoffdaten werden in dieser Datenbank bereits seit 1972 vollständig erfasst [1]. Seit 1998 sind auch alle Messergebnisse zu biologischen Arbeitsstoffen einschließlich der Endotoxine in dieser Datenbank umfassend dokumentiert. Die Daten stehen für Auswertungen zu speziellen Fragestellungen, wie z. B. dem Vorkommen von Endotoxinen in Arbeitsbereichen oder für fachliche Dokumentationen im Rahmen der Prävention branchenübergreifend zur Verfügung [2].

In der Literatur finden sich für Hintergrundbelastungen der Außenluft mit biologischen Arbeitsstoffen vor allem Angaben zu Schimmelpilzkonzentrationen aus verschiedenen Staaten. Die Daten wurden häufig in Vergleichsstudien zur Ermittlung von Schimmelpilzkonzentrationen in der Innenraumluft z. B. von Wohngebäuden erhoben. Angaben zu Bakterienkonzentrationen in der Außenluft liegen in deutlich geringerem Umfang in der Literatur vor. Literaturstellen mit dem inhaltlichen Schwerpunkt Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft lagen den Autoren nicht vor.

In **Tabelle 1** sind einige Beispiele aus der Literatur mit Angaben zu Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen in der Außenluft zusammengefasst.

In den aufgeführten Beispielen wurden für die Bestimmung der Mikroorganismenkonzentrationen in der Außenluft

Tabelle 1. Literaturbeispiele zur Größenordnung von Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen in der Außenluft an unterschiedlichen Standorten.

Autoren	Standort	Probenahmeverfahren	Zeitraum der Datenerfassung	Mikroorganismenkonzentration in der Außenluft in KBE · m ⁻³	Untersuchte Einflüsse
Schimmelpilze					
Fang et al. (2008) [3]	Peking, China 1) Außenanlage eines Forschungszentrums am Stadtrand, viele Fußgänger, wenig Verkehr 2) verkehrsreiches Gebiet im Stadtzentrum 3) Botanischer Garten ohne Gebäude und asphaltierte Straßen	Impaktion sechsstufiger FA-I-Sammler (nachgebauter Andersen-Sammler, Eigenentwicklung, Applied Technical Institute of Liaoyang, China) Kultivierung auf Sabouraud-Glucose-Agar	ein Jahr (Juni 2003 bis Mai 2004)	2,4 · 10 bis 1,4 · 10⁴	Standort Jahreszeit Tageszeit Partikelgrößenverteilung im Zusammenhang mit der Konzentration Häufigkeit ausgewählter Gattungen
Tesseraux et al. (2004) [4]	Karlsruhe (KA), Deutschland 1) ländlicher Standort in der Nähe von KA 2) urbaner Standort in KA (Straßenmessstation des Messnetzes Baden-Württemberg) 3) emittentennaher Standort am Stadtrand von KA (offener Kompostplatz für Gartenabfälle)	Filtration Luft wird mithilfe einer Pumpe durch ein Doppelfilter aus Gelatinefilter (= Sammel- filter) und Polycarbonatfilter (= Stützfilter) gesaugt VDI 4254 Blatt 2 Kultivierung auf DG-18-Agar VDI 4253 Blatt 2	eine Vegetationsperiode (März bis Oktober 2003)	4,7 · 10 bis 1,36 · 10⁴	Standort Jahreszeit Wetter Lufttemperatur
Shelton et al. (2002) [5]	USA Außenluft neben Gebäuden in den geografischen Regionen Far West, Northwest, Midwest, Northeast, Southwest, Southeast	Impaktion Andersen N6-Sammler (Thermo Andersen Inc., Atlanta, Ga.) Kultivierung auf Bengalrosa-Agar ohne Streptomycin oder auf Malzextraktagar	1996 bis 1998	8 · 10 bis 1 · 10⁴	Standort Jahreszeit
Li und Kuo (1992) [6]	Taipeh, Taiwan sechs Wohngebäude	Impaktion zweistufiger Anderson-Sammler	Mai bis Juni	4 · 10² bis 4,2 · 10³	Standort Luftfeuchtigkeit Lufttemperatur Häufigkeit ausgewählter Gattungen
Bakterien					
Fang et al. (2008) [3]	Peking, China 1) Außenanlage eines Forschungszentrums am Stadtrand, viele Fußgänger, wenig Verkehr 2) verkehrsreiches Gebiet im Stadtzentrum 3) Botanischer Garten ohne Gebäude und asphaltierte Straßen	Impaktion sechsstufiger FA-I-Sammler (nachgebauter Andersen-Sammler, Eigenentwicklung, Applied Technical Institute of Liaoyang, China) Kultivierung auf Nähragar (Bakterien) und Mineral-Agar nach Gauze (Actinomyceten)	ein Jahr (Juni 2003 bis Mai 2004)	Bakterien: 7,1 · 10 bis 2,2 · 10⁴ Actinomyceten: 0 bis 9,8 · 10²	Standort Jahreszeit Tageszeit Partikelgrößenverteilung im Zusammenhang mit der Konzentration
Bovallius et al. (1978) [7]	Schweden 1) Landwirtschaftlich genutzter Bereich 2) Küstenregion 3) Park in Stockholm 4) Straßenkreuzung im Zentrum von Stockholm	Impaktion sechsstufiger Andersen-Impaktor	1) und 2) viereinhalb Jahre Januar 1969 bis Juni 1973 3) und 4) Juli 1972 bis Juni 1973	1) 2 bis 3,4 · 10³ 2) 0 bis 5,6 · 10² 3) 1 · 10² bis 2,5 · 10³ 4) 1 · 10² bis 4,0 · 10³	Standort Jahreszeit Wetter Luftfeuchtigkeit Lufttemperatur Windverhältnisse

sowohl das Impaktions- als auch das Filtrationsverfahren mit anschließender Kultivierung der gesammelten Mikroorganismen auf verschiedenen Nährböden angewendet. Als Probenahmegerät kam vorrangig ein Andersen-Sammler in unterschiedlicher Ausführung zum Einsatz (zwei bis sechsstufig) [8]. Die zu sammelnden Partikeln werden mit diesem Gerät aus der Luft angesaugt und über eine oder mehrere Siebplatten direkt auf eine Nährbodenplatte abgeschieden, die danach im Labor bebrütet wird. Die nach einem bestimmten Zeitraum gewachsenen Kolonien werden ausgezählt und die Ergebnisse unter Berücksichtigung des Probenahmevolumens in Kolonie bildenden Einheiten (KBE) pro Kubikmeter Luft angegeben. Die Untersuchungszeiträume in den verschiedenen Studien umfassten wenige Monate bis zu mehreren Jahre. Neben den Einflussgrößen Standort, geografische Lage, Klima (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit), Wind- und Wetter-situation, Jahres- oder Tageszeit wurde teilweise auch die Häufigkeit des Vorkommens ausgewählter Schimmelpilzgattungen betrachtet.

Eine Auswertung der in MEGA erfassten Daten zu Schimmelpilz-, Bakterien- und Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft soll dazu dienen, die Informationslücke über Konzentrationen von Bakterien und Endotoxinen zu schließen und die für Schimmelpilze vorhandenen Daten zu ergänzen. Für diese Veröffentlichung wurden alle Ergebnisse zu Schimmelpilz-, Bakterien- und Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft ausgewertet, die in der Expositionsdatenbank MEGA für den Zeitraum vom 1. Januar 1999 bis einschließlich 31. Dezember 2007 erfasst sind. Die Außenluftmessungen erfolgten jeweils in unmittelbarer Nähe des Betriebes, in dem Arbeitsplatzmessungen zu biologischen Arbeitsstoffen stattfanden. Die Standorte und deren geografische Lage waren durch die Arbeitsplatzmessungen vorgegeben und wurden deshalb nicht im Einzelnen betrachtet. Sie lagen im gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Bei jeder Probenahme im BGMG werden der Probenahmezeitpunkt mit Datum und Uhrzeit sowie die Klima-, Wind- und Wetterdaten erfasst. Die vorliegende Auswertung beschränkt sich jedoch auf einen Bezug der mikrobiologischen Analyseergebnisse zur Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und zur Jahreszeit (über die monatliche Darstellung der Ergebnisse).

Mit den Ergebnissen aus dieser Auswertung soll ein allgemeiner Überblick über zu verschiedenen Jahreszeiten in Deutschland vorhandene Hintergrundkonzentrationen der drei oben genannten Messgrößen gegeben werden. Die Daten sollen weiterhin als Bewertungsgrundlage von entsprechenden Ergebnissen aus Arbeitsplatzmessungen zur Gefährdungsbeurteilung nach Biostoff-Verordnung oder in Berufskrankheiten-Ermittlungsverfahren herangezogen werden können, wenn keine anderen Bezugsangaben vorliegen.

2 Material und Methoden

Zur Bestimmung der Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen in der Außenluft dienen Filtration und Impaktion als Probenahmeverfahren, jeweils mit anschließender Kultivierung der gesammelten Sporen bzw. Zellen und Auszählung der gewachsenen Kolonien.

Das Filtrationsverfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft mit Bestimmung der Anzahl

Kolonie bildender Einheiten pro Kubikmeter Luft ($\text{KBE} \cdot \text{m}^{-3}$) nach der Direkten oder der Indirekten Methode ist in der BGIA-Arbeitsmappe beschrieben [9]. Die Probenahme erfolgte mit dem Gesamtstaub-Probenahmesystem GSP und personentragbaren Pumpen (z. B. GSA 5002 EX, Fa. GSM, Neuss) mit einem Probenahmevolumen von $3,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. An jedem Standort wurden sechs Cellulosenitratmembranfilter beaufschlagt und die gesammelten Schimmelpilzsporen im Labor auf Dichloran-Glycerin-(DG-18)-Agar angezüchtet. Die Probenahme nach dem Impaktionsverfahren wurde mit einem Microbial Air Sampler (MAS 100, Fa. VWR International, Darmstadt) mit einer Durchflussrate von $100 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ durchgeführt (nähere Beschreibung siehe [10]). Pro Standort wurden je vier DG-18-Nährbodenplatten beaufschlagt. Die Bakterienkonzentrationen wurden nach demselben Probenahmeverfahren und mit denselben Probenahmegegeräten wie die Schimmelpilze nach den in der BGIA-Arbeitsmappe beschriebenen Verfahren ermittelt [10]. Pro Standort wurden zwölf Cellulosenitratfilter bzw. vier Casein-Sojamehlpepton-(CASO)-Agarplatten mit Cycloheximid beaufschlagt. Die Probenahmedauer betrug für alle Schimmelpilz- und Bakterienproben jeweils mindestens eine Minute und maximal zehn Minuten. Die Beaufschlagung der Filter zur Bestimmung des Endotoxingehaltes der Luftproben dauerte jeweils mindestens eine Stunde. Pro Standort wurden zwei bis drei Borsilikatglasfaserfilter beaufschlagt. Die Endotoxinkonzentrationen wurden nach dem in der BGIA-Arbeitsmappe beschriebenen Standardverfahren mit dem chromogen-kinetischen Limulus-Amoebocytin-Lysat-Test ermittelt [11]. Die Proben wurden zu unterschiedlichen Tageszeiten unter den jeweils herrschenden Wetter- und Klimabedingungen genommen.

Mit Stand 31. Dezember 2007 wurden die seit dem 1. Januar 1999 in der Expositionsdatenbank MEGA erfassten Datensätze zu Konzentrationen von Schimmelpilzen, Bakterien und Endotoxinen in der Außenluft, die mit den oben beschriebenen Verfahren und unter den genannten Bedingungen ermittelt worden waren, ausgewertet. Die Häufigkeitsverteilung dieser Daten wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test mit Signifikanzkorrektur nach *Lilliefors* auf einem Signifikanzniveau von 10 % mithilfe von SPSS, Version 15.01 für Word vom 22. November 2006, geprüft.

3 Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt wurden für die Auswertung 1 072 Ergebnisse aus Messungen biologischer Arbeitsstoffe in der Außenluft betrachtet. Dabei handelte es sich um 665 Ergebnisse zu Schimmelpilzkonzentrationen, 216 Ergebnisse zu Bakterienkonzentrationen und 191 Ergebnisse zu Endotoxinkonzentrationen.

3.1 Auswahl der Daten

Für Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen lagen Ergebnisse vor, die mit verschiedenen Probenahmeverfahren, der Filtration oder der Impaktion, ermittelt wurden. Bei der Filtration bestehen für die nachfolgende Analytik zur Bestimmung der Gesamtkoloniezahl lebensfähiger Mikroorganismen zwei Möglichkeiten der Probenaufarbeitung: Bei der Direkten Methode werden die beaufschlagten Filter direkt auf eine Nährbodenplatte aufgelegt und bebrütet, während sie bei der Indirekten Methode in einer Suspensionslösung abgewaschen und diese Lösung anschließend, ggf. nach

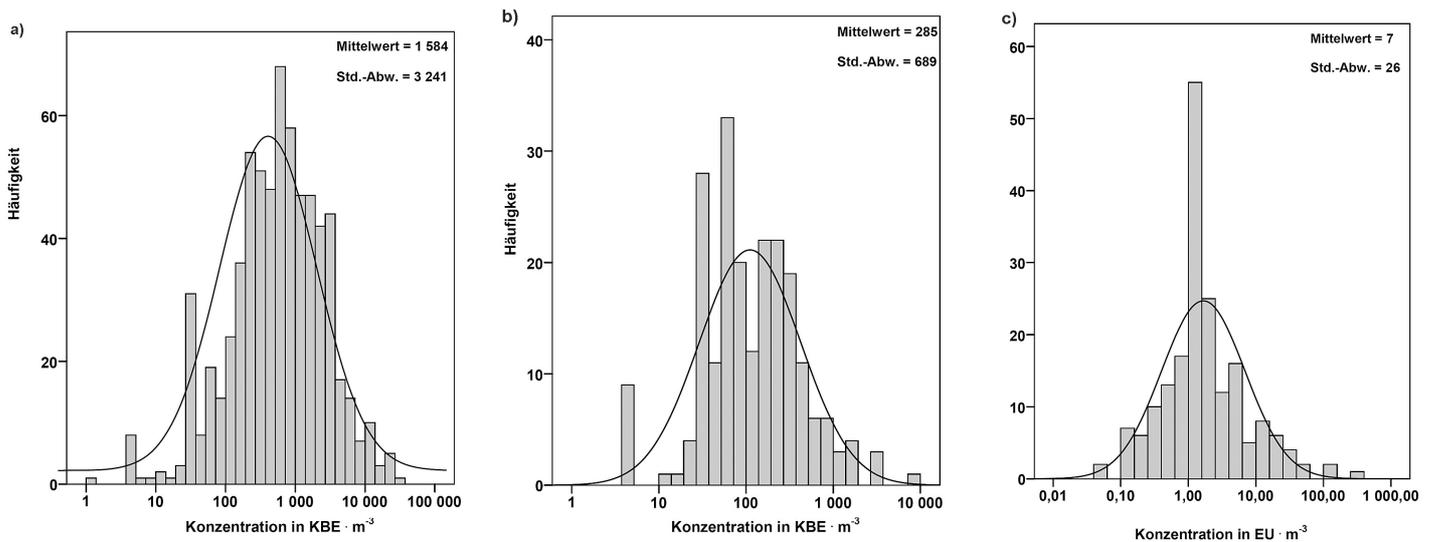


Bild 2. Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse für Schimmelpilze, Bakterien und Endotoxine in der Außenluft. a: Schimmelpilze ($n = 665$), b: Bakterien ($n = 216$), c: Endotoxine ($n = 191$)

Verdünnung, in unterschiedlichen Konzentrationsstufen auf Nährbodenplatten verteilt wird. Diese Vorgehensweise bewirkt, dass auch bei sehr hohen Mikroorganismenkonzentrationen in der Luftprobe auf den Nährbodenplatten im Labor klar voneinander abgegrenzte Kolonien gezählt werden können. Die beiden Analysemethoden bilden unterschiedliche Konzentrationsbereiche einer mit demselben Probenahmeverfahren ermittelten Messgröße ab, wobei die Direkte Methode für einen niedrigeren Konzentrationsbereich ($< 10\,000 \text{ KBE} \cdot \text{m}^{-3}$ Luft) besser geeignet ist. Impaktion und Filtrationsverfahren in Kombination mit Direkter Methode decken denselben Konzentrationsbereich ab. Mit Filtration und der Indirekten Methode ermittelte Ergebnisse zu Schimmelpilz- oder Bakterienkonzentrationen in der Außenluft wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Messungen biologischer Arbeitsstoffe oder ihrer Bestandteile während der normalen Arbeitszeit bei Ausübung von für den jeweiligen Beschäftigten üblichen Tätigkeiten stellen stichprobenartige Momentaufnahmen der jeweiligen Arbeitsplatzsituation dar. Die Beurteilung dieser Messwerte erfolgt, mit Blick auf eine Gesundheitsgefährdung des exponierten Beschäftigten, zumeist vor dem Hintergrund der zeitgleich mit der betrieblichen Messung erhobenen lokalen Außenluftkonzentration der verschiedenen Messgrößen. Ein Argument, das in diesem Zusammenhang häufig angeführt wird ist, dass die Expositionssituation bei Verarbeitung anderer Materialien, an anderen Tagen oder zu anderen Jahreszeiten völlig anders sei. Um zu prüfen, inwiefern dieses Argument zumindest mit Blick auf die Jahreszeiten für die Hintergrundkonzentrationen von Endotoxinen, Bakterien und Schimmelpilzen in der Außenluft von Bedeutung ist, wurden die jeweiligen Konzentrationen für alle Jahre zusammengefasst, aber nach Monaten getrennt betrachtet.

3.2 Häufigkeitsverteilung der Daten

Die ausgewerteten Ergebnisse sind zufällig ermittelte Expositionsdaten. Diese können normalerweise durch eine Lognormalverteilung gut beschrieben werden. Die Prüfung der Häufigkeitsverteilung der auszuwertenden Daten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test ergab jedoch, dass die Lognormalverteilung nicht für alle betrachteten Mess-

größen im selben Umfang gegeben war. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in **Bild 2** dargestellt. In **Tabelle 2** wurden für jede Messgröße die Anzahl der Ergebnisse, die Minimal- und Maximalwerte, der arithmetische Mittelwert und der Median für jeden Monat zusammengefasst.

Um das Abweichen von der Lognormalverteilung zu erklären, wurden drei Ansatzpunkte verfolgt: Zum einen könnte die Anzahl der für jede Messgröße auswertbaren Ergebnisse eine Rolle spielen. Zweitens wurde geprüft, welcher Anteil der Daten im Wertebereich der Bestimmungsgröße lag, da für Situationen mit einem hohen Anteil von Werten unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze die Annahme einer Lognormalverteilung verletzt sein kann. Als Drittes wurde die Anzahl und Größenordnung der Ausreißer betrachtet. In den **Bildern 3 bis 5** wurden die Schimmelpilz-, Bakterien- und Endotoxinkonzentrationen hierfür im Jahresverlauf jeweils als Boxplot-Diagramm dargestellt.

Die Daten zur Schimmelpilzkonzentration ($n = 665$) waren für neun von elf auswertbaren Monaten lognormalverteilt, die zur Bakterienkonzentration ($n = 216$) für acht von elf auswertbaren Monaten und die zur Endotoxinkonzentration für sechs Monate im auswertbaren Zeitraum. Der Monat Dezember wurde bereits vorab aus der Auswertung herausgenommen, da mikrobiologische Proben in diesem Monat nur in Ausnahmefällen untersucht werden konnten.

Bei den Schimmelpilzkonzentrationen fielen die Monate Mai und Juni aus der Lognormalverteilung heraus, obwohl die Anzahl der ausgewerteten Daten mit $n = 51$ und $n = 59$ nicht deutlich geringer waren als in der Mehrzahl der anderen Monate (siehe Tabelle 2). Auffällig waren hier jedoch mehrere Ausreißer im unteren Konzentrationsbereich, die hierfür als Ursache in Betracht kommen (siehe Bild 3).

Die Bakterienkonzentrationen waren in den Monaten Februar, April und Mai nicht lognormalverteilt. Für den Mai mag dies damit begründet sein, dass hier mit $n = 9$ Ergebnissen aus acht Jahren insgesamt nur sehr wenige Daten betrachtet wurden. Bei den beiden anderen Monaten lag mit mehr als 30 % ein vergleichsweise hoher Anteil der Daten im Wertebereich der Bestimmungsgrenze, zusätzlich lagen hier auch einige Ausreißer im oberen Konzentrationsbereich vor (siehe Bild 4).

Tabelle 2. Außenluftkonzentrationen von Schimmelpilzen, Bakterien und Endotoxinen pro Monat.

Monat	Anzahl der ausgewerteten Ergebnisse	Minimum	Arithmetischer Mittelwert	Median	Maximum
Schimmelpilze in KBE · m⁻³					
Januar	54	4	195	188	1 286
Februar	60	28	314	132	3 457
März	59	10	551	157	17 571
April	57	4	812	809	25 715
Mai	51	4	2 201	1 005	28 571
Juni	59	26	1 715	2 429	10 512
Juli	79	316	4 189	2 243	26 280
August	59	328	3 208	937	26 280
September	58	1	1 330	850	10 000
Oktober	86	143	1 244	372	10 512
November	40	57	646	471	3 500
Dezember	3	202	436	188	634
Bakterien in KBE · m⁻³					
Januar	25	4	232	57	2 886
Februar	15	28	367	71	3 571
März	26	10	178	61	945
April	29	4	98	43	630
Mai	9	4	804	1 115	1 555
Juni	19	28	198	154	943
Juli	25	33	268	143	1 055
August	18	57	429	229	2 985
September	20	28	565	157	8 000
Oktober	20	30	229	123	1 429
November	10	30	158	150	339
Endotoxine in EU · m⁻³					
Januar	17	0,12	4,45	1,21	40,9
Februar	12	0,05	3,68	1,13	26,5
März	21	0,14	4,47	0,75	27,1
April	19	0,12	17,22	0,93	310,4
Mai	9	0,12	8,52	1,20	41,3
Juni	18	0,24	2,18	1,29	13,7
Juli	21	0,06	8,96	1,99	147,4
August	24	0,84	9,82	1,28	108,8
September	19	0,55	4,73	1,20	22,5
Oktober	23	0,21	4,41	1,82	24,3
November	8	0,32	1,99	1,40	6,2

Größte Bestimmungsgrenze für Endotoxine: 1,2 EU · m⁻³ Luft

Auch bei den Endotoxinkonzentrationen waren jeweils mehrere Ursachen für das Herausfallen bestimmter Monate aus der Lognormalverteilung verantwortlich. Für diese Messgröße wurden in der Außenluft sehr häufig Konzentrationen ermittelt, die in der Größenordnung der Bestimmungsgrenze von 1,2 EU · m⁻³ Luft lagen. Besonders bemerkbar machte sich dies in den Monaten August und September, während im April und Juli noch zusätzlich vorhandene Ausreißer dafür sorgten, dass die Daten keiner Lognormalverteilung folgten.

Die ausgewerteten Expositionsdaten wurden zufällig erhoben. Innerhalb des betrachteten Zeitraumes von acht Jahren waren aber offenbar, mit Ausnahme weniger Monate, genügend Daten zusammengekommen, um eine Lognormalverteilung abzubilden. Die weitere Darstellung und Beurteilung der Ergebnisse erfolgte deshalb unter der Annahme, dass es sich um annähernd normalverteilte Daten handelt.

3.3 Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft

Die größte Anzahl auswertbarer Ergebnisse lag mit $n = 665$ Daten für Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft vor (siehe Bild 5). Zur Ermittlung der Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft standen zwischen 40 und 86 Daten pro Monat zur Verfügung. Die Konzentrationen variierten in einem Bereich von 1 KBE · m⁻³ (Minimum, gemessen im September) bis zu 28 571 KBE · m⁻³ (Maximum, gemessen im Mai). Damit lagen die an verschiedenen Standorten in Deutschland ermittelten Konzentrationen in derselben Größenordnung wie die weltweit durch andere Autoren ermittelten Daten (zum Vergleich siehe Tabelle 1). In der Vegetationsperiode können Schimmelpilzkonzentrationen bis zu einer Größenordnung von mehreren 10 000 KBE · m⁻³ in der Außenluft durchaus vorkommen.

Die höchsten arithmetischen Mittelwerte der Schimmelpilzkonzentrationen wurden mit Werten zwischen 1 244 und 4 189 KBE · m⁻³ von Mai bis Oktober, d. h. vom späten Früh-

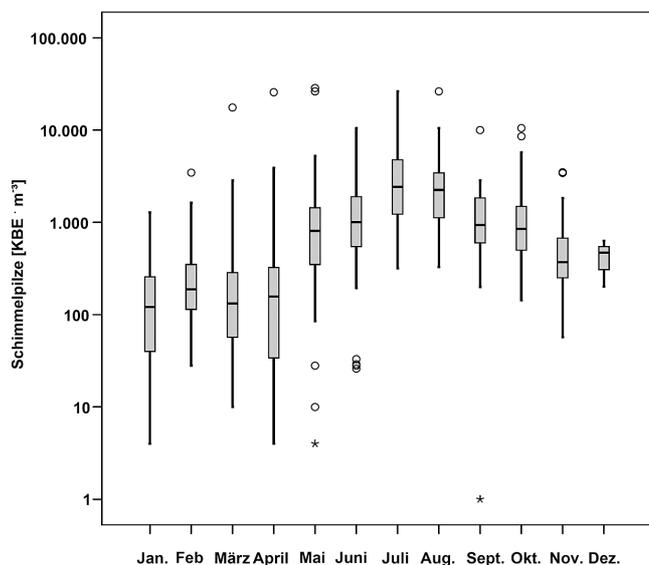


Bild 3. Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft pro Monat (n = 665).
 y-Achse in logarithmierter Darstellung; Kreis = Ausreißer; Sternchen = extremer Ausreißer; Box = 25-Perzentil unten, 75-Perzentil oben; Querstrich in der Box = Median; Längsstrich in der Box = Abstand zwischen dem kleinsten Nicht-Ausreißer unten (kleinster Messwert innerhalb des 1,5fachen Interquartilabstandes) und dem größten Nicht-Ausreißer oben (größter Messwert innerhalb des 1,5fachen Interquartilabstandes)

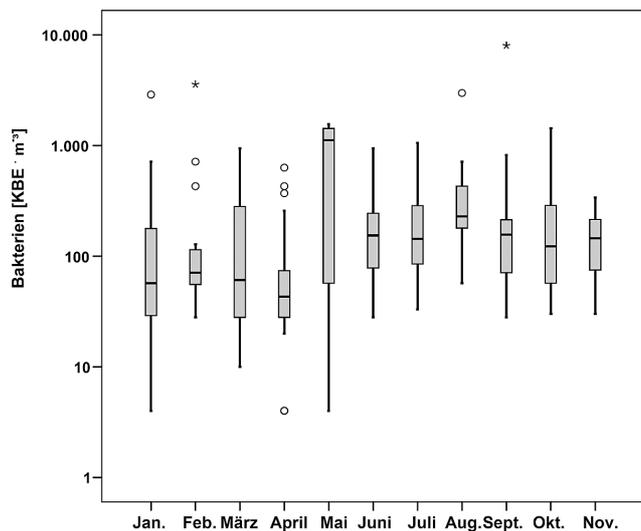


Bild 4. Bakterienkonzentrationen in der Außenluft pro Monat (n = 216).

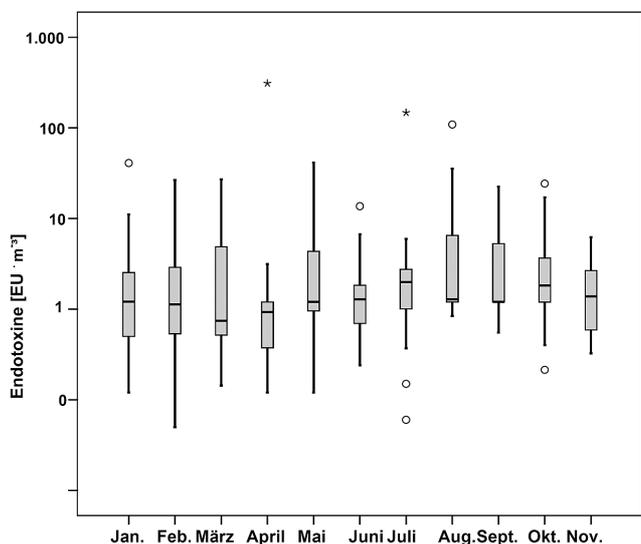


Bild 5. Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft pro Monat (n = 191).

jahr bis zum Herbst verzeichnet (siehe Tabelle 2). Übliche Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft in Deutschland liegen im Sommer und Herbst offenbar bei ca. $1 \text{ bis } 4 \cdot 10^5 \text{ KBE} \cdot \text{m}^{-3}$ und im Winter und Frühjahr ca. eine Zehnerpotenz darunter im Bereich von $2 \text{ bis } 8 \cdot 10^2 \text{ KBE} \cdot \text{m}^{-3}$.

3.4 Bakterienkonzentrationen in der Außenluft

Zu Bakterienkonzentrationen in der Außenluft lagen $n = 265$ Ergebnisse vor, die sich auf 9 bis 29 Daten pro Monat verteilen. Die Verteilung der Bakterienkonzentrationen im Jahresverlauf ist in Bild 4 als Boxplot-Diagramm dargestellt.

Über alle Monate variierten die Bakterienkonzentrationen in einem Bereich von $4 \text{ KBE} \cdot \text{m}^{-3}$ (Minimum, gemessen im Januar, April und Mai) bis zu $8\,000 \text{ KBE} \cdot \text{m}^{-3}$ (Maximum, gemessen im September). Im Jahresverlauf ließen sich keine so deutlichen Unterschiede der Werte zwischen den Jahreszeiten erkennen wie für die Schimmelpilze. Auch die an verschiedenen Standorten in Deutschland ermittelten Bakterienkonzentrationen lagen überwiegend in derselben Größenordnung wie die in anderen Staaten oder Kontinenten durch andere Autoren ermittelten Daten (siehe Tabelle 1). Der höchste arithmetische Mittelwert für Bakterienkonzentration in der Außenluft wurde mit $804 \text{ KBE} \cdot \text{m}^{-3}$ für den Monat Mai verzeichnet.

Übliche Bakterienkonzentrationen in der Außenluft liegen in Deutschland offenbar bei ca. $1 \text{ bis } 8 \cdot 10^2 \text{ KBE} \cdot \text{m}^{-3}$. In den Winter- und Frühjahrsmonaten sind als Hintergrundkonzentration in der Außenluft demnach offenbar etwa gleich viele Bakterien und Schimmelpilzen vorhanden, während im Sommer und Herbst die Schimmelpilze vorherrschen.

3.5 Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft

Für die Beschreibung der Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft konnten $n = 191$ Ergebnisse zur Auswertung herangezogen werden. Auch die Verteilung der Endotoxinkonzentrationen im Jahresverlauf ist als Boxplot-Diagramm dargestellt (Bild 5). Pro Monat standen zur Ermittlung der Endotoxinkonzentrationen in der Außenluft zwischen 8 und 24 Daten zur Verfügung.

An verschiedenen Standorten in Deutschland wurden in der Außenluft arithmetische Mittelwerte zwischen 1,99 und 17,22 Endotoxineinheiten (EU) $\cdot \text{m}^{-3}$ festgestellt. Die maximal nachgewiesene Endotoxinkonzentration lag bei $310 \text{ EU} \cdot \text{m}^{-3}$ Luft. Wie bei den Bakterien konnten im Jahresverlauf auch für die Endotoxine keine Unterschiede zwischen den Jahreszeiten festgestellt werden.

3.6 Einfluss von Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur

Das Vorhandensein von Wasser und eine optimale Umgebungstemperatur spielen für das Leben von Schimmelpilzen und Bakterien eine wichtige Rolle. In einigen Studien zum Vorkommen von Schimmelpilzen und Bakterien in der Luft wurden deshalb auch die Messgrößen Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur erfasst und ihr Einfluss auf die Größenordnung der jeweils vorhandenen Organismenzahlen betrachtet (z. B. [6; 7]).

Luftfeuchtigkeit und -temperatur werden bei Arbeitsplatzmessungen und auch bei Referenz-Außenluftmessungen im BGMG stets miterfasst. Die entsprechenden Daten sind deshalb ebenso wie die Analysenergebnisse zu Schimmelpilzen, Bakterien und Endotoxinen in der MEGA-Expositionsdatenbank vorhanden. Beim Versuch, die Gesamtheit der betrach-

teten Schimmelpilz-, Bakterien- und Endotoxinkonzentrationen mit den Daten zur Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur in Beziehung zu setzen, wurde für keine der mikrobiologischen Größen eine Korrelation zu diesen Umweltkenngrößen festgestellt. Eine nach Monaten aufgelöste Auswertung wurde unter diesem Aspekt bisher nicht durchgeführt.

4 Fazit

Obwohl sich die Untersuchungszeiträume (wenige Monate bis mehrere Jahre), die geografischen Lagen und die klimatischen Bedingungen der beprobten Standorte teilweise sehr stark voneinander unterscheiden und auch unterschiedliche Messverfahren angewendet wurden, verzeichneten die Autoren weltweit durchaus vergleichbare Ergebnisse für die Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilz- oder Bakterienkonzentrationen in der Außenluft (Tabelle 1).

Demzufolge kann zusammengefasst werden, dass Schimmelpilzkonzentrationen in der Luft (zumindest auf der Nordhalbkugel der Erde) offenbar einem jahreszeitlichen Verlauf mit Konzentrationen im Bereich von 10^2 bis 10^5 KBE · m⁻³ im Winter und Frühjahr und gut einer Zehnerpotenz höher liegenden Werten im Sommer und Herbst folgen, während dies für Bakterien- und Endotoxinkonzentrationen nicht in diesem Maß der Fall zu sein scheint.

Tesseraux et al. [4] verglichen in einer Untersuchung in Baden-Württemberg Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft an einem ländlichen, einem urbanen und einem durch einen benachbarten Kompostplatz als Schimmelpilzquelle beeinflussten Standort. Dabei wurden die höchsten Schimmelpilzkonzentrationen am ländlichen Standort verzeichnet. Sie waren im jahreszeitlichen Verlauf im Frühjahr an allen betrachteten Standorten niedrig, im Sommer deutlich höher und im Herbst am höchsten. Auch der Einfluss der Witterung durch Auswaschung von Schimmelpilzsporen aus der Luft Regen konnte in dieser Untersuchung aufgezeigt werden.

Derart detaillierte Angaben zu den Probenahmestandorten können in der MEGA-Expositionsdatenbank auch vorhanden sein. Sie werden jedoch nicht über ein Schlüsselverzeichnis codiert, sondern – falls erforderlich – von den Probenehmern als Freitext erfasst und wurden deshalb nicht abgefragt. Beeinflussungen der Messergebnisse durch benachbarte Quellen wurden nicht gesondert betrachtet, da die Qualitätsrichtlinien des BGMG als Voraussetzung für eine aussagekräftige Referenzmessung die Wahl eines quellunabhängigen Messplatzes fordern.

Die vorliegenden Ergebnisse beschreiben eine Mischexposition aus vielen verschiedenen geografischen Lagen und Standorten, die durch die Auswertung von zufällig erfassten Expositionsdaten ermittelt wurde. Um bei einer solchen Vorgehensweise zu aussagekräftigen Ergebnissen zu kommen, ist eine ausreichend große Datengrundlage erforderlich. Es war das Ziel dieser Auswertung, möglichst allgemeingültige Vergleichswerte als Beurteilungskriterien darzustellen. Der

Vergleich mit den in der Literatur vorhandenen Angaben bestätigt, dass dies erreicht wurde. Gleichwohl sollten bei der Beurteilung von Hintergrundkonzentrationen von Schimmelpilzen, Bakterien und Endotoxinen in der Außenluft die am jeweiligen Probenahmetag herrschenden Wetterverhältnisse, Klimabedingungen und speziellen örtlichen Gegebenheiten nicht vollkommen außer Acht gelassen werden.

Literatur

- [1] Gabriel, S.: The BG Measurement System for Hazardous Substances (BGMG) and the Exposure Database of Hazardous Substances (MEGA). *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 12 (2006) Nr. 1, S. 101-104.
- [2] Kolk, A.; Koppisch, D.: Endotoxinbelastung am Arbeitsplatz – Auswertung der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 67 (2007) Nr. 9, S. 361-362.
- [3] Fang, Z.; Ouyang, Z.; Zheng, H.; Wang, X.: Concentration and size distribution of culturable airborne microorganisms in outdoor environments in Beijing, China. *Aerosol Sci. Technol.* 42 (2008), S. 325-334.
- [4] Tesseraux, I.; Dezenter, S.; Veith, A.; Creutzmacher, H.: Immissionsmessungen von Schimmelpilzen in der Außenluft nach VDI 4252 Blatt 2 und VDI 4253 Blatt 2 im jahreszeitlichen Vergleich. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 64 (2004) Nr. 6, S. 300-305.
- [5] Shelton, B. G.; Kirkland, K. H.; Flanders, W.D.; Morris, G. K.: Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Appl. Environm. Microbiol.* 68 (2002) Nr. 4, S. 1743-1753.
- [6] Li, C.-S.; Kuo, Y.-M.: Airborne characterization of fungi indoors and outdoors. *J. Aerosol Sci.* 23 (1992) Nr. 1, S. 667-670.
- [7] Bovallius, Å.; Bucht, B.; Roffey, R.; Ånäs, P.: Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden. *Appl. Environm. Microbiol.* 35 (1978) Nr. 5, S. 847-852.
- [8] Andersen, A. A.: New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J. Bacteriol.* 76 (1958), S. 471-484.
- [9] Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9420). 30. Lfg. IV/03. In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: BGIA – Institut für Arbeitsschutz, Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt 1989 (Losebl.-Ausg.). www.bgia-arbeitsmappeditigital.de/9420
- [10] Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9430). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 32. Lfg. IV/04. www.bgia-arbeitsmappeditigital.de/9430
- [11] Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9450). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 28. Lfg. IV/02. www.bgia-arbeitsmappeditigital.de/9450