

TOPIC

# Bioaerosole in Innenräumen

## Wirken sie schützend oder schädigend?

Thomas Lob-Corzilius, Osnabrück

*Als Bioaerosole werden luftgetragene Teilchen biologischer Herkunft bezeichnet. Diese sind natürlicher Bestandteil der Umgebungsluft und können infolge menschlicher Aktivitäten in erhöhter Konzentration auftreten. Dazu zählen Ansammlungen von Partikeln, denen Pilze und Sporen, Bakterien, Viren sowie deren Zellwandbestandteile (Endotoxine) und Stoffwechselprodukte (z. B. Mykotoxine) anhaften, aber auch Pollen-, Milben- oder Tierhaarallergene. Der zudem enthaltene Feinstaub ist bronchial- oder alveolargängig. In Innenräumen gibt es zahlreiche Quellen für diverse Bioaerosole. Ob diese sich in Bezug auf die Entwicklung einer bronchialen Hyperreagibilität oder einer Allergie protektiv oder schädigend auswirken, wird in diesem Beitrag dargestellt.*

### Konglomerat feinsten Partikel

Die Vielzahl dieser biologischen Partikel hat in der Regel einen Durchmesser im Größenbereich von 0,01–100 µm. Zum Vergleich: Pollen sind zwischen 10 µm und 100 µm groß, luftgetragene Sporen messen ca. 2–15 µm, Viren sind zwischen 0,02 µm und 0,4 µm klein. Ein Großteil der Bioaerosole enthält definitionsgemäß Feinstäube bis 10 µm und ist damit bronchial- bis alveolargängig.

Seit 2014 gibt es den „Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen der Bund/Länder-AG für Immissionsschutz“ [4]. Bezogen auf die zu überprüfenden Anlagen bezieht er sich auf die VDI-Richtlinie 4250 Blatt 3, in der im Wesentlichen Nutztierhaltungs-, Kottrocknungs-, Kompostierungs- und Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen erfasst sind. Im Leitfaden sind anlagenbezogene Leitparameter für eine potenzielle, mikrobielle Luftbelastung festgelegt für Bakterien, z. B. Staphylokokken, wie auch für Schimmelpilze, z. B. Aspergillus.

Für den privaten Wohn- und Haushaltsbereich und auch Kindergärten bzw. KiTas greifen diese Normen bzw. Regelsysteme aber nicht!



### Volatile organische Komponenten und Terpene im Haushalt

Terpene sind Hauptbestandteil der in Pflanzen produzierten ätherischen Öle, kommen in >8000 Varianten vor und gehören im Haushalt zu den häufigsten flüchtigen, organischen Komponenten (VOC). Sie können als Pheromone wirken und werden deshalb auch als „umweltfreundliche“ Insektizide verwendet. Viele Terpene wirken auch antimikrobiell und werden als Geruchsstoffe in **kosmetischen Produkten**, z. B. Haarsprays, oder **Körperpflege-Produkten**, z. B. in Waschlotionen, eingesetzt. Monoterpene (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>) sind mit bis zu 88 % die dominierende Komponente bei den Nicht-Sprayprodukten [6].

Laut einem Review von Rohr haben Sprays zur Haar- und Raumpflege sowie als Insektizide im Vergleich zu Badegels und Shampoos das höchste Potenzial, im Innenraum Ozon zu bilden [14]. Die Reaktionen zwischen Terpenen und Ozon wiederum führen zu einer Vielzahl sekundärer, organischer Aerosole (SOA) zum Teil mit sehr feinen Partikeln (PM<sub>2,5</sub>). In hohen Konzentrationen führen die SOA zu gesicherten schädigenden Atemwegseffekten. Unklar bleibt bislang, ob diese Effekte auch bei niedrigeren, mehr umweltrelevanten Konzentrationen auftreten. Belegt ist: Der Feinstaubkontakt kann durch eine Minimierung terpenhaltiger Sprays in Innenräumen wirksam

reduziert werden, wodurch auch dort die Ozonkonzentrationen sinken.

Eine weitere VOC-Quelle stellen **Duftkomponenten** in Haushaltsreinigern dar. So wurden in 131 Haushalten 26 verschiedene Duftzusätze in 1447 Reinigungsprodukten gefunden; die meisten von ihnen enthielten u. a. Linalool, Limone oder Citronellol. Diese Substanzen stellen damit eine relevante Expositionsquelle im täglichen Gebrauch dar [19].

VOC's und Terpene sind in unseren Haushalten ubiquitär verbreitet und stellen insbesondere als Sprays eine bisher weitgehend unbekannte Ozon- und Feinstaubquelle dar. Allerdings kann dabei bislang kein eindeutiger Krankheitswert nachgewiesen werden.

### Bakterielle Bioaerosolquellen

Staubsauger tragen während des Saugens zur Innenraumluftbelastung mit biologischem Feinstaub und Bakterien bei. Die Emissionen variieren erheblich nach dem eingesetzten Produkt, z. B. ob es mit einem Feinstaubfilter ausgestattet ist oder nicht. Zu den Konzentrationen im Staubbeutel gibt es nur eine schlechte Korrelation [12].

Auch Duschköpfe stellen je nach Nutzungsintensität und Wasserquelle eine potenzielle Bioaerosolquelle dar. So wurden in Süngland 99 Duschen auf klinisch relevante Legionellen untersucht, in 8% der Duschwasserproben konnten sie kulturell isoliert werden. Weitere 31% waren qPCR positiv. Die qPCR-gemessene Legionellenkonzentration nahm mit zunehmender DusCHFrequenz ( $p=0,04$ ) und häufigerem Säubern des Duschkopfs ( $p=0,05$ ) ab [5]. In einer weiteren Studie wurde in 656 Haushalten verteilt in den USA, aber auch Europa, Biofilmproben

von Duschköpfen auf nichttuberkulöse Mykobakterien untersucht und diese mit der verwendeten Wasserqualität verglichen [8]. Unter anderem fanden sich dabei deutliche regionale Häufungen mit vermehrter Mykobakterienanreicherung besonders in chloriertem Wasser, welches häufig in den USA verwendet wird. In diesen Regionen wurden auch gehäuft nichttuberkulöse Mykobakterieninfektionen der Lunge diagnostiziert.

Manche bakterielle Bioaerosole sind somit potenziell pathogen; dabei ist die individuelle Disposition für den Beginn einer Erkrankung von erheblicher Bedeutung.

### Endotoxine

Endotoxine sind Zellwandbestandteile von Gram-negativen Bakterien, können inhaliert werden und induzieren eine immunologische Stimulation verschiedener empfänglicher Zellen. Endotoxine sind mikrobielle Substanzen, die zur Wirkung der Mikroben (auch Pilze) z. B. im Stall und Umgebung selbst beitragen. Ihre Bedeutung bei den Bauern- und Farmstudien um das Forschungsteam von Erika von Mutius trug zur Bestätigung der 1989 erstmalig von Strachan formulierten und 2000 [18] von ihm selbst erneuerten Hygienehypothese bei.

Die Einflüsse des Aufwachsens auf einem Bauernhof auf eine spätere Allergie- und Asthmaentwicklung wurden seither weiter intensiv untersucht: So geschehen auch durch ein Forschungsteam aus München und Chicago [17], das je 60 Kinder aus den zurückgezogen lebenden, protestantischen Religionsgemeinschaft der Amish und der Hutterer im ländlichen Amerika untersuchten. Deren Vorfahren waren im 17. und 18. Jahrhundert aus der Schweiz (Amische) oder Südtirol (Hutterer) nach Amerika ausgewandert. Ihr ethnischer

Hintergrund ist deshalb ähnlich. Die Amischen ackern traditionell ohne Traktoren und Maschinen, während die Hutterer eine industrielle Landwirtschaft betreiben. Bei den Amischen befinden sich die Viehställe in der Nähe der Wohnung, die Kinder dürfen darin spielen. Bei den Hutterern befinden sich die High-Tech-Viehställe oft fern der Wohnhäuser und Kinder halten sich dort nicht oder nur selten auf.

Diese Unterschiede im Alltagsleben wurden auch in den Staubproben deutlich, die in den Schlaf- und Esszimmern gesammelt wurden. Bei den Amischen waren die Endotoxin-Konzentrationen 6,8-fach höher als bei den Schulkindern der Hutterer, von denen 21,3% an Asthma litten gegenüber nur 5,2% bei den Amischen. Auch die Prävalenz positiver Allergietests ist bei den Hutterern mit 33,3 versus 7,2% deutlich höher wie auch die Zahl der Eosinophilen, hingegen wiesen die Amischen eine höhere Zahl an Neutrophilen und Monozyten auf. Zudem fand sich bei ihnen ein Profil der Genaktivierung des angeborenen Immunsystems. In einem Mausmodell wurde mit einem Staubextrakt der allergieprotektive Effekt repliziert, dabei ist der quantitative Beitrag des Endotoxins noch unklar.

Die Hutterer- und Amischen-Studie belegt erneut, dass unterschiedliche Farming-Techniken eine wesentliche Bedeutung für eine spätere Allergie- und Asthmaentwicklung haben, wobei die Endotoxine ein Indikatorstoff sind und nicht allein die eigentlichen Auslöser. Die Hygienehypothese ist dadurch erneut gestärkt worden.

### Irritative Wirkungen durch Mykotoxine

Mykotoxine sind sekundäre Stoffwechselprodukte von Pilzen oder von Glucanen aus Zellwandbestandteilen. Sie er-

zeugen irritativ entzündliche Reaktionen mit nichtallergischen Schleimhautreizungen an Auge, Nase, Rachen und tieferen Atemwegen. Das so benannte Mucous Membrane Irritation Syndrome (MMI) tritt sehr selten im häuslichen oder KiTa- bzw. Schulbereich auf, es sei denn, es besteht ein massiver Feuchtschaden mit erheblicher Schimmelbildung. Die Symptome lassen schnell nach, wenn die Exposition unterbrochen wird. Ausführlichere Erläuterungen finden sich unter [13].

### Microbial Volatile Organic Compounds

Mit dem Begriff Microbial Volatile Organic Compounds (MVOC) werden flüchtige organische Verbindungen bezeichnet, welche von Schimmelpilzen und Bakterien gebildet werden. Viele MVOC besitzen osmophile Gruppen (Carbonyl-, S-, N- oder OH-Gruppen) und haben sehr niedrige Geruchsschwellen. Sie sind für den modrig-faulen „Schimmelgeruch“ verantwortlich. Bei erheblichen Geruchsbelästigungen können Müdigkeit, Konzentrationschwäche, Übelkeit, Kopfschmerzen und Schlaflosigkeit typische Symptome sein. Ausführlichere Erläuterungen finden sich unter [13].

Mykotoxine wirken konzentrationsabhängig schleimhautirritierend oder als MVOC's unspezifisch gesundheitsbeeinträchtigend. Wird die Quelle unterbrochen oder verlassen, bilden sich die Symptome rasch zurück und hinterlassen keine bleibenden Schäden.

## Bioaerosole und relevante Allergene

Einige Publikationen der letzten Jahre beschäftigen sich mit definierten Allergenen in Bioaerosolen. Die daraus resultierenden, relevanten Erkenntnisse werden im Folgenden zusammengefasst.

### Allergenmix in Bioaerosolen

In einer Studie der Yale-University wurden bei 1233 Schulkindern mit Asthma IgE-spezifische Bluttests sowie zuhause Luft- und Staubproben auf Pilze, Milben (Der p 1, Der f 1), Katze (Fel d 1), Hund (Can f 1) untersucht [9]. Die gemessenen Level wurden mit asthmatischen Reaktionen einen Monat lang assoziiert. Kinder, die sensibilisiert und mit niedrigen Konzentrationen von Penicillium exponiert waren, hatten ein signifikant erhöhtes Risiko für Pfeifen, dauerhaften Husten und zunehmende Medikation im Vergleich zu Kindern mit Asthma ohne Sensibilisierung bzw. ohne Exposition (OR ca. 2). Zunehmende Asthmasymptome fanden sich auch bei Der p 1, Fel d 1 and Can f 1, aber nicht bei Cladosporium.

Bei 158 Kindern einer Geburtskohorte in Cincinnati [10], von denen 32 ein ärztlich diagnostiziertes Asthma hatten, wurde im Alter von 7 Jahren der Einfluss mikrobieller Kontamination im Hausstaub auf das exhalierete NO bestimmt, das – wie bekannt – ein Maß für die bronchiale Inflammation ist. Eine hohe Konzentration von Streptomyces war signifikant assoziiert mit einer Abnahme der eNO-Konzentration bei den asthmatischen Kindern, aber nicht bei den Gesunden ( $p < 0,001$ ).

Somit könnte Streptomyces aus der Klasse der Actinobacter antientzündlich wirken. Allerdings sind einige Streptomycesarten in ihrem Stoffwechsel als De-Nitrifizierer bekannt und somit könnte die Abnahme der eNO-Konzentration falsch negativ sein. Die Präsenz von Hundeallergenen war assoziiert mit ansteigenden eNO-Konzentrationen ( $p = 0,001$ ). Das ebenfalls gemessene Endotoxin war im Hausstaub nicht signifikant erhöht.

Bei den gesunden Kindern war weder die Exposition mit Streptomyces noch mit Hundeallergenen signifikant mit erhöhten eNO-Werten verknüpft.

Die beiden Studien belegen, dass Kinder mit Asthma ein höheres Risiko für Symptome entwickeln, wenn in ihrem häuslichen Milieu neben den bekannten Milben-, Katzen- und Hundeallergenen auch Innenraumpilze wie Penicillium und Streptomyces nachgewiesen werden können.

### Tierallergene in Bioaerosolen

In der Detroitter Geburtskohortenstudie [10], die zu mehr als 80% Familien der Mittelklasse weißer Hautfarbe umfasste, wurden 555 Teenager im Alter von 18





Jahren sowie 435 Mütter und 298 Väter untersucht. Fast 60% der Teilnehmenden berichteten von einer kontinuierlichen Haltung mindestens eines Hundes, gut 30% über die Haltung mindestens einer Katze. In der Untergruppe von 266 Familien mit erhöhtem spezifischem IgE eines der Familienmitglieder waren weder Hunde- noch Katzenhaltung signifikant assoziiert mit allergischen Symptomen bei anwesendem Tier. Allerdings: Hunde wurden bei symptomatischen Teenagern signifikant seltener als bei nicht symptomatischen Jugendlichen gehalten ( $p=0,036$ ). Nur in der Kombination von Sensibilisierung und berichteten allergischen Symptomen fand sich bei so betroffenen Müttern und Katzenhaltung eine Signifikanz ( $p=0,049$ ).

Diese Studie bestätigt somit die geltende allergologische Einschätzung: Eine Hunde- oder Katzenhaarsensibilisierung ist für sich genommen nicht pathogen. Offen bleibt aber, unter welchen Bedingungen daraus dann eine Allergie wird.

Zwei kürzlich erschienene Publikationen aus dem Forschungsinstitut für Prävention und Arbeitsmedizin der Ruhr-Universität Bochum (IPA) befassen sich mit der Milben-, Katzen- und Hundeallergenbelastung im Staub von 20 Kindertageseinrichtungen (KiTa).

In einer Studie wurden in Summe 1340 Staubproben in 171 Räumen viermal während des Jahres entnommen [16]. Nahezu alle Proben enthielten Allergene: 99% Hausstaubmilben (DM), 96% Fel d 1 der Katze und 96% Can f 1 des Hundes. Verglichen mit bekannten häuslichen Konzentrationen lagen die gemessenen Werte in den KiTas mit 13% DM, 43% Fel d 1 und 27% Can f 1 über der Sensibilisierungsschwelle und waren besonders

konzentriert im Polstermobiliar, für Milbenallergen am höchsten im Schlafbereich und im Herbst. Waren Räume in den letzten 5 Jahren renoviert worden, führte dies zu einer signifikanten Milbenreduktion. An nicht staubgesaugten Möbeln fanden sich signifikant höhere Konzentrationen für Can f 1, auf lediglich gefegten Böden höhere Werte von Fel d 1.

In der zweiten Studie wurden 620 KiTa-Proben mit 602 Proben aus dem häuslichen Milieu von Kindern und KiTa-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeitern verglichen und auf die oben genannten Milben-, Katzen- und Hundeallergene untersucht [15]. Zudem wurden Schwellenwerte für die Tierhaarallergene bestimmt, indem Proben aus Haushalten mit und ohne Haustiere verglichen wurden. In Summe war die Gesamtallergenbelastung durchschnittlich in den KiTas höher als zu Hause. In den KiTas lagen die Konzentrationen für Can f 1 bei 34% über dem Schwellenwert für Hundeallergen, die Werte für Fel d 1 für Katze bei 54% in Abhängigkeit vom Raumtyp und der Jahreszeit. Damit lagen sie häufig im Konzentrationsbereich von Wohnungen mit Haustieren.

Zusammenfassend belegen die IPA-Untersuchungen die zunehmende Bedeutung von KiTas für einen frühkindlichen Kontakt mit Milben-, Katzen- sowie Hundeallergen auch für Kinder aus „haustierfreien“ Familien. Diese Kenntnis ist pädiatrisch bedeutsam, da die meisten Klein- und Vorschulkinder dort viele Stunden ihres Lebensalltags verbringen und sich dort sensibilisieren können.

### Erdnussprotein in Bioaerosolen

Eine englische Arbeitsgruppe hat mittels einer multivariaten Regressionsanalyse belegt, dass der Haushaltskonsum von Erdnuss über die Dauer von 1–6 Mona-

te die wichtigste Variable für einen Erdnussprotein-Nachweis im Kinderbett und Spielbereich darstellt [3]. Dabei induziert ein hoher Erdnussproteinnachweis im Staub bei Kindern mit Erdnussallergie eine dosisabhängige Aktivierung von Basophilen.

In einer weiteren anglo-amerikanischen Studie konnte bei Kindern mit einer Atopischen Dermatitis (AD) in der Anamnese nachgewiesen werden, dass bei Kontakt mit Erdnussprotein im Hausstaub die Sensibilisierung im Pricktest erhöht war (OR = 1,97), bei schwerer AD noch deutlicher (OR = 2,41) [2]. Bei schwerer AD ist das Risiko einer oral induzierten Erdnussallergie nach längerem Kontakt mit Erdnussstaub mit einer OR von 2,34 mehr als verdoppelt ( $p < 0,01$ ).

In einer kürzlich erschienenen englisch-schwedischen Fall-Kontroll-Studie mit 411 Kindern wurde ferner der Zusammenhang zwischen einer mit Erdnussallergen belasteten mütterlichen Bettumgebung in der frühen Säuglingszeit und einer Erdnussensibilisierung im Vorschul- und Schulalter untersucht [1].



Hoch-Risiko-Kinder mit positiver Atopieanamnese der Eltern hatten ein um gut 40% erhöhtes Sensibilisierungsrisiko (OR = 1,41) im Alter von 4 Jahren und ein mehr als verdoppeltes Risiko (OR = 2,11) im Alter von 8 Jahren verglichen mit Kindern ohne Atopierisiko. In der folgenden Kohortenanalyse mit insgesamt 1878 zufällig ausgesuchten Kindern konnte allerdings keine signifikante Beziehung zwischen Erdnussstaubbelastung in der frühen Kindheit und AD bzw. elterlicher Erdnussensibilisierung nachgewiesen werden.

Die genannten Untersuchungen belegen die Bedeutung von Erdnussproteinen und insbesondere der hitzestabilen Ara h 2-Fraktion im häuslichen Umfeld als potente Allergene mit hohem Sensibilisierungsrisiko für Kinder mit bestimmten Risikofaktoren, ohne dass diese selbst Erdnüsse gegessen haben: dies sind Kinder mit AD und Kinder, deren Eltern an einer Atopie leiden.

## Zusammenfassung

Unter der Vielzahl von Bioaerosolen im Haushalt und KiTa haben nur die im Staub des klassischen Bauernhofs enthaltenen mikrobiellen Substanzen, u. a. das Endotoxin, eine weitgehend gesicherte, protektive Wirkung. Allerdings wachsen heutzutage kaum noch Säuglinge und Kleinkinder in dem dafür nötigen Bauernhofmilieu auf, in dem auch die schwangere Mutter noch im Stall tätig ist. Aus diesem Grund befassen sich weltweit Forschungsgruppen mit der Analyse und speziellen immunologischen Wirkung der Endotoxine und anderer mikrobieller Substanzen mit dem Ziel, daraus neue Präventionsstrategien zu entwickeln [11].

Bei den anderen besprochenen Bioaerosolen wie Terpene, VOC's, einige Bakte-

rienspezies, Mykotoxine, MVOC's und Sporen mancher Pilze finden sich potenziell schädigende Effekte oder sie lassen sich bisher nicht ausschließen. Bei Kindern ohne elterliche Atopie wirken Milben-, Hunde- und Katzenallergen im Hausstaub nichtsignifikant sensibilisierend. Diese können aber bei Kindern mit erhöhtem Allergierisiko-Score zur Sensibilisierung und möglichen Allergie- und Asthmaentwicklung beitragen und wirken bei schon Sensibilisierten teilweise schädigend. Die Wirkung wird durch

Innenraumschimmelpilze verstärkt. Bei gestörter Hautbarriere wirkt erdnussproteinhaltiger Hausstaub eindeutig allergiefördernd.

Dr. med. Thomas Lob-Corzilius

WAG Umweltmedizin der GPA  
Osnabrück  
[thlob@uminfo.de](mailto:thlob@uminfo.de)

*Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.*

## Literatur

- 1 Brough HA, Kull I, Richards K et al. Environmental peanut exposure increases the risk of peanut sensitization in high-risk children. *Clin Exp Allergy* 2018; 48(5): 586–593
- 2 Brough HA, Liu AH, Sicherer S et al. Atopic dermatitis increases the effect of exposure to peanut antigen in dust on peanut sensitization and likely peanut allergy. *J Allergy Clin Immunol* 2015; 135(1): 164–70
- 3 Brough HA, Santos AF, Makinson K et al. Peanut protein in household dust is related to household peanut consumption and is biologically active. *J Allergy Clin Immunol* 2013; 132(3): 630–638
- 4 Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaften für Immissionschutz. Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosolmissionen. 2014. [https://www.hlnug.de/fileadmin/downloads/luft/Leitfaden-Bioaerosole\\_31-01-2014.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/downloads/luft/Leitfaden-Bioaerosole_31-01-2014.pdf)
- 5 Collins S, Stevenson D, Bennett A, Walker J. Occurrence of Legionella in UK household showers. *Int J Hyg Environ Health* 2017; 220(2 Pt B): 401–406
- 6 Dinh TV, Kim SY, Son YS et al. Emission characteristics of VOCs emitted from consumer and commercial products and their ozone formation potential. *Environ Sci Pollut Res Int* 2015; 22(12): 9345–55
- 7 Ezell JM, Wegienka G, Havstad S, Ownby DR, Johnson CC, Zoratti EM. A cross-sectional analysis of pet-specific immunoglobulin E sensitization and allergic symptomatology and household pet keeping in a birth cohort population. *Allergy Asthma Proc* 2013; 34(6): 504–10
- 8 Gebert MJ, Delgado-Baquerizo M, Oliverio AM et al. Ecological Analyses of Mycobacteria in Showerhead Biofilms and Their Relevance to Human Health. *M Bio* 2018; 9(5). pii: e01614–18
- 9 Gent JF, Kezik JM, Hill ME, Tsai E, Li DW, Leaderer BP. Household mold and dust allergens: exposure, sensitization and childhood asthma morbidity. *Environ Res* 2012; 118: 86–93
- 10 Johansson E, Reponen T, Vesper S et al. Microbial content of household dust associated with exhaled NO in asthmatic children. *Environ Int* 2013; 59: 141–7
- 11 Kirjavainen PV, Karvonen AM, Adams RI et al. Farm-like indoor microbiota in non-farm homes protects children from asthma development. *Nature Medicine* 2019; 25: 1089–1095; correction in *Nature Medicine* 2019; 25: 1319 (s. auch: Meinrenken S, Bufe A. Bauernhof-Staub im Stadthaus als Asthmaprävention? *Päd All* 2019; 4: 27. [https://www.gpau.de/media/zeitschrift/int/paed\\_allerg/2019\\_04/html5/index.html?](https://www.gpau.de/media/zeitschrift/int/paed_allerg/2019_04/html5/index.html?))
- 12 Knibbs LD, He C, Duchaine C, Morawska L. Vacuum cleaner emissions as a source of indoor exposure to airborne particles and bacteria. *Environ Sci Technol* 2012; 46(1): 534–42
- 13 Lob-Corzilius Th. Medizinisch klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition in Innenräumen. Zusammenfassung der AWMF-S2k-Leitlinie (AWMF-Reporter-Nr. 161/001) aus pädiatrischer Sicht. *Päd Allerg* 2017; 1: 11–17
- 14 Rohr AC. The health significance of gas- and particle-phase terpene oxidation products: a review. *Environ Int* 2013; 60: 145–62
- 15 Sander I, Lotz A, Neumann HD et al. Indoor allergen levels in settled airborne dust are higher in day-care centers than at home. *Allergy* 2018; 73: 1263–1275
- 16 Sander I, Neumann HD, Lotz A et al. Allergen quantification in surface dust samples from German day care centers. *J Tox Environ Health, Part A* 2016; 79, NOS: 22–23, 1094–1105
- 17 Stein MM, Hrusch CL, Gozdz J et al. Innate Immunity and Asthma Risk in Amish and Hutterite Farm. *N Engl J Med* 2016; 375: 411–421
- 18 Strachan DP. Family size, infection and atopy: the first decade of the 'hygiene hypothesis'. *Thorax* 2000; 55(1): S2–S10
- 19 Wieck S, Olsson O, Kümmerer K, Klaschka U. Fragrance allergens in household detergents. *Regul Toxicol Pharmacol* 2018; 97: 163–169