Feinstaub und Schadstoffe in Innenräumen

Die Bevölkerung hält sich hauptsächlich in Innenräume auf, dadurch findet die Exposition gegenüber Feinstäuben und chemischen Schadstoffen hauptsächlich in diesen statt. Innenräume können eine Vielzahl von Schadstoffen enthalten. Die Identifikation und Entfernung von Verursachern kann zu starker Verbesserung von Beschwerden führen.

A. Rebernig

Baubiologie & Messtechnik IBN/SBM, Feldkirchen, Österreich

Feinstaub – Schadstoffe im Hausstaub – Innenraumtoxikologie – Luftreinhaltung – Raumluftbelastungen

internistische praxis 67, 365–371 (2023)
mgo fachverlage GmbH & Co. KG

Einleitung

Die Mehrzahl der Bevölkerung verbringt 85–90 % der Zeit in Innenräumen. Hierzu zählen zum Beispiel das eigene Zuhause, der Arbeitsplatz, öffentliche Gebäude oder das Auto. Innenräume sind auch die größten Expositionsquellen von Feinstäuben und bestimmten Chemikalien. Einige Chemikalien kommen sogar nur in Innenräumen vor. Auch global gesehen verbringen die Menschen die meiste Zeit in Innenräumen, der größte Teil der Exposition gegenüber Luftverschmutzungen findet somit auch in Innenräumen statt [1]. Für die Belastung durch Außenluftfeinstäube existiert eine Fülle an Studien [2], die detaillierte Informationen zu Exposition, Wirkung und Gesundheitsrisiken liefern, für Innenräume ist dies jedoch nicht der Fall. Da die Bevölkerung sich den überwiegenden Teil der Zeit in Innenräumen aufhält, sind Untersuchungen dringend notwendig. In der Luftgüteleitlinie (AQG) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [1] wird darauf hingewiesen, dass Innenraumstäube sich deutlich von Feinstäuben im Außenbereich unterscheiden und als zwei separate Schadstoffklassen zu betrachten sind.

Die Luft als Lebensmittel

Luftverschmutzung wird nach Angaben der WHO [3] als das größte ökologische Einzelrisiko für den Menschen gewertet und zählt mit den Auswirkungen auf Atmung, Herz und Kreislauf zu den führenden Ursachen von Erkrankungen und

frühzeitigen Todesfällen weltweit. Der Mensch atmet je nach Alter und Aktivität zwischen 10 und 20 m^3 Luft pro Tag ein, was einer Masse von 12–24 kg entspricht. Dies ist weitaus mehr als die tägliche Aufnahme von Lebensmitteln und Wasser und damit ist die Atemluft das wichtigste Lebensmittel des Menschen. Zudem halten sich Menschen in Mitteleuropa bis zu 90 % ihrer Zeit in Innenräumen auf [4]. Die Relevanz der Innenraumluftqualität lässt sich daran erkennen.

Nach Sundell [5] begann die moderne wissenschaftliche Betrachtung der Innenraumluftqualität in den 1970er-Jahren mit der Frage: *»Gibt es ein Gesundheitsrisiko durch die Innenraumluft wie durch die Außenluft?«* Es wurde bald festgestellt, dass die Innenraumluft aus gesundheitlicher Sicht viel wichtiger als die Außenluft ist. 2005 empfahl das Expertengremium der WHO Richtlinien für die Innenraumluftqualität, da die Belastung durch Verschmutzungen der Atemluft in Innenräumen als zunehmender Risikofaktor für die menschliche Gesundheit angesehen wird [6].

Feinstäube in Innenräumen

Die individuelle Exposition wird durch die gegebene Partikelkonzentration der Umgebungsluft und der Atmung, die von der Aktivität abhängt, bestimmt. Dabei dringt mit jedem Atemzug eine große Anzahl von feinen Teilchen in die Lunge. Wo diese abgeschieden werden, hängt von der Größe der Teilchen ab und bestimmt auch die gesundheitliche Bedeutung [7]. Feine Partikel können bis tief in die Lungenperipherie vordringen, sich dort festsetzen und langfristig deponiert werden. Je nach chemisch-physikalischen Eigenschaften lösen diese im Lungengewebe Entzündungsreaktionen aus, wodurch das Immunsystem geschwächt wird, chronische Lungenerkrankungen begünstigt werden und die Krebsgefahr steigt [7].

Ultrafeine Partikel können in das Bindegewebe, Lymphknoten und Blutbahn übergehen und konnten bei Ratten in Leber, Herz und Gehirn nachgewiesen werden. Da Stäube auch kanzerogene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Schwermetalle transportieren, stellen diese eine erhöhte Gefährdung dar [8]. Seit 2013 werden Feinstäube von der Weltgesundheitsorganisation als kanzerogen für den Menschen eingestuft [9]. Des Weiteren konnten erhöhte Feinstaubkonzentrationen mit verringertem Gehirnvolumen in Verbindung gebracht werden [10].

Kinder haben aufgrund ihrer anderen Atemwegsgeometrie und ihres größeren Atemvolumens (bezogen auf das Körpergewicht) zudem eine höhere Partikeldeposition im Atemtrakt [11].

Besonderheiten bei Kindern

Man ging früher davon aus, dass Kinder besonders resistent gegenüber Umweltexpositionen seien, jedoch wurde im Gegenteil eine besondere Empfindlichkeit entdeckt, da sie aufgrund ihres Verhaltens erhöhten Expositionen ausgesetzt sind und verschiedene Stoffe nicht so gut ausscheiden können. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die kindliche Reifung des Gehirns durch neurotoxische Stoffe irreversibel beeinträchtigt wird und zu Defiziten in der intellektuellen Leistung führt. Expositionen im frühen Kindesalter entscheiden auch über die spätere allergische Disposition [12].

Aufgrund des höheren Atemzeitvolumens atmen Kinder auch deutlich größere Mengen an Luft ein. In vielerlei Hinsicht sind Kinder verstärkt betroffen, da sie sich näher am Boden befinden und die abgelagerten Stäube eher einatmen. Die Aufnahmemenge von Hausstaub eines Kleinkindes liegt bei 0,02–0,2 g pro Tag und ist doppelt so hoch wie die eines Erwachsenen, manche Kinder können Mengen bis zu 10 g Staub aufnehmen [13].

Schadstoffe in Hausstäuben

Wachsende Bedenken bestehen gegenüber leicht- und schwerflüchtigen Schadstoffen, die aus Produkten und Baumaterialien in die Raum-

luft emittieren [1]. Für eine gesundheitliche Bewertung von Innenraumstäuben muss neben der Partikelgröße auch die chemische Zusammensetzung und Morphologie berücksichtigt werden [14]. Laut Europäischer Umweltagentur gibt es trotz wachsender Evidenz über eine höhere biologische Wirksamkeit von Innenraumfeinstäuben und sekundären Aerosolen aus Innenraumchemikalien ein nur sehr eingeschränktes Wissen darüber [15].

Schadstoffe werden von Möbeln, Raumtextilien und Baustoffen abgegeben, verteilen sich auf Oberflächen und werden vom Hausstaub gebunden, in Innenräumen können bis zu 5.000 verschiedene Chemikalien gemessen werden [13].

Häufig sind Innenräume wie Wohnungen, Büros, Schulen und öffentliche Gebäude erheblich mit Schadstoffen belastet. Ein Spiegel dieser chemischen Schadstoffbelastung in unseren Räumen ist der Hausstaub, da sich in Innenräumen mittel- bis schwerflüchtige Schadstoffe an den Staubpartikeln anlagern [13]. Partikel können auch eine Trägerfunktion für toxische Substanzen wie SVOC (semi volatile organic compounds: dt. schwerflüchtige organische Substanzen) aufweisen und diesen den Zugang zu tiefen Regionen des Atemtrakts ermöglichen, die ansonsten keinen Zugang dazu hätten [1].

Die experimentellen und epidemiologischen Untersuchungen hatten bis jetzt nicht den integrativen Ansatz, die chronische Niedrigdosiskonzentration sowie die vorhandenen Schadstoffgemische zu untersuchen, daher ist die Bewertung von Innenraumschadstoffen und deren Gesundheitsrisiko limitiert [15]. Das zurzeit vorhandene Paradigma von Einzelstoffbewertungen chemischer Substanzen muss geändert werden und chemische, toxikologische und epidemiologische Informationen aufgrund der Schadstoffmixturen und deren Auswirkung auf die menschliche Gesundheit zusammengeführt werden. Auch das europäische Projekt ENVIE stellte fest, dass man weit davon entfernt ist, alle gesundheitlichen Effekte von bestimmten Innenraumschadstoffen zu charakterisieren [15].

Trockene Luft?

Häufig werden bei Atemwegsbeschwerden erhöhte Raumluftfeuchten empfohlen. In einer Literaturstudie konnte von Hahn [16] darstellen, dass die Auswirkung der trockenen Raumluft auf die Atemwege nicht primär auf die relative Luftfeuchte zurückzuführen ist, sondern durch zu hohe Raumlufttemperaturen eine zu geringe Luftwechselrate oder Luftverunreinigungen sowie eine erhöhte Staubbelastung ausgelöst wird. Es besteht im Allgemeinen die Meinung, dass eine zu trockene Raumluft die Atemwege austrocknet, und es wird daher für den Behaglichkeitsbereich eine untere Grenze von 30–40 % relative Luftfeuchte genannt. Es konnte dafür jedoch kein medizinisch belegbarer Beweis erbracht werden [16]. Bei Untersuchungen in Produktionsstätten mit relativer Luftfeuchte von 2,5 % konnten keine Unterschiede zu nicht exponierten Personen bei Beschwerden wie trockener Nase, Mund und Hals nachgewiesen werden. Dies konnte bei anderen Untersuchungen verifiziert werden [16]. Bei geringer relativer Luftfeuchte wird die Entstehung von Staub begünstigt und auch länger schwebefähig gehalten. Es sollten daher bei Klagen über trockene Raumluft andere Ursachen in Betracht gezogen werden, wie z. B. Luftverunreinigungen [16]. Auch in der DIN EN 13779 wird darauf hingewiesen, dass bei Beschwerden über trockene Raumluft als Ursache Staub und Luftverschmutzungen sowie zu hohe Raumlufttemperaturen zu sehen sind [16].

Grenz-, Richt- und Zielwerte für Innenräume

Für die Innenraumluft gibt es keine europäische gesetzliche Regelung [16]. Auch die WHO gibt in der Luftgüteleitlinie keine Richtwerte für Innenräume an, es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die primäre Belastung in Innenräumen stattfindet und auch deutlich höher als im Außenbereich sein kann [1]. Die Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte stellte 2008 fest, dass weder die EU-Feinstaubrichtwerte noch die AQG der WHO generell als gesundheitliche Bewertung für Feinstäube der Innenraumluft verwendet werden

Abb. 1 | *Feinstaubmessung*

können, da sich diese primär auf Verbrennungspartikel beziehen. In Abwesenheit spezifischer Innenraumquellen hängt die PM2,5-Konzentration jedoch stark von der Außenluft ab, daher können die Tagesmittelwerte für reine Wohnräume als Orientierung herangezogen werden [11]. Wird die Partikelmasse als Beurteilung genommen, wird die städtische Bevölkerung im Vergleich zur ländlichen dreimal mehr belastet, hingegen bis zu neunzehnmal mehr, wenn die Partikelanzahl als Beurteilung herangezogen wird [7].

Saubere Luft schaffen

Häufig werden Baubiologen bei Atemwegsbeschwerden gerufen, als Ursachen können immer wieder erhöhte Feinstaubkonzentrationen sowie Schadstoffanreicherungen in den Hausstäuben bzw. Innenräumen festgestellt werden. Zur Analyse werden Räume auf die Partikelkonzentration sowie Hausstäube auf den Schadstoffgehalt untersucht.

▶Abbildung 1 zeigt exemplarisch eine Feinstaubmessung. In ▶Abbildung 2 sind die Ergebnisse einer Feinstaubmessung in einer Wiener Innenstadtwohnung in Zentrumsnähe dargestellt. Die Messung fand ca. ein halbes Jahr nach Fertigstellung der Sanierungsmaßnahmen und Bezug statt, mit einer erhöhten Konzentration von atemwegsrelevanten Feinstäuben in der Innenraumluft.

Die erhöhten Feinstaubwerte weisen auf einen hohen Verschmutzungsgrad der Innenräume hin, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass die Innenräume einem hohen hygienischen Standard entsprachen, durch die laufende Reinigung einer Putzfrau.

Werden Verursacher erkannt und entfernt, können teilweise erstaunliche gesundheitliche Verbesserungen eintreten. So konnte häufiger beobachtet werden, dass Personen mit Atemwegsbeschwerden schnelle und deutliche Verbesserungen ihrer Beschwerden erfuhren. Besonders bei Kindern sind die Verbesserungseffekte sehr deutlich bei Reduzierung von erhöhten Belastungen. Es konnten auch Fälle von Kindern verzeichnet werden, die mit chronischen Atemwegsproblemen mehrfach in klinische Be-

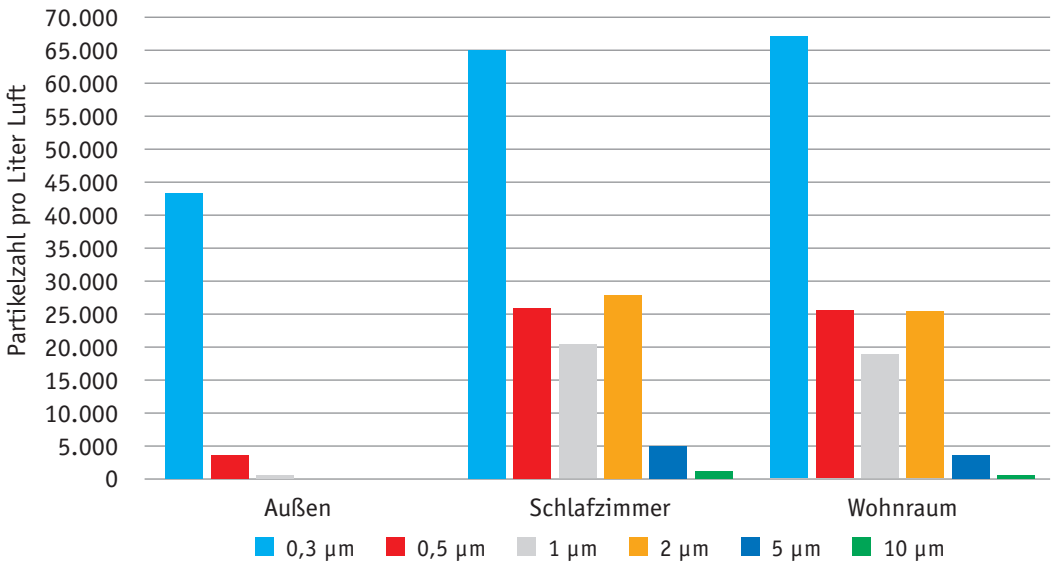

Abb. 2 | *Partikelzahl pro Liter Luft*

handlung mussten. Nach Analyse und Behebung der Innenraumauffälligkeiten sind die Symptome schnell und vollständig verschwunden, wie in dem zuvor dargestellten Fall der Wiener Innenstadtwohnung.

Auch Patienten mit diagnostizierter COPD (chronic obstructive pulmonary disease; dt: chronisch obstruktive Lungenerkrankung) konnte schon durch den Nachweis von erhöhten Feinstaubwerten in der Innenraumluft geholfen werden. Sie spürten nach den Sanierungsmaßnahmen eine deutliche Verbesserung der Symptomatik.

Sanierungsempfehlungen

Je nach Auffälligkeit in den Innenräumen können entsprechende Reduzierungsmaßnahmen wie Feinreinigungen, erhöhte Lüftungsraten und Reinigungsintervalle sowie Materialuntersuchungen zur Quellenbestimmung von Schadstoffen empfohlen werden. Zur Ursachensuche von Feinstäuben werden typischerweise Partikelzähler eingesetzt, für leichtflüchtige Schadstoffe sogenannte Photoionisationsdetektoren. Zur Bestimmung von leichtflüchtigen Einzelsubstanzen und einer toxikologischen Bewertung müssen jedoch Raumluftanalysen durchgeführt werden. Schwerflüchtige Schadstoffe können über Hausstaubanalysen nachgewiesen werden, deren Quellen durch Materialuntersuchungen. Damit können Quellen bestimmt und entsprechende Reduzierungsmaßnahmen empfohlen werden. Durch höherer Reinigungs- und Lüftungsintervalle lassen sich Feinstaub- und Schadstoffkonzentrationen reduzieren, wenn auch nur bis zu einem gewissen Grad. Die Primärquellenbestimmung ist für eine sichere Reduzierung bei höheren Schadstoffkonzentrationen immer zielführend. Vor allem Feinreinigungen zeigen bei Feinstaub- und/oder Schadstoffkonzentrationen häufig erstaunliche Verbesserungseffekte. Hierzu werden Luftreinigungsgeräte mit sogenanntem Hyper-HEPA-Filter (HEPA = high efficient particulate air) verwendet, welche Stäube bis 30 Nanometer filtern. Die Luftreiniger werden hierzu für mehrere Stunden pro Raum aufgestellt und gleichzeitig alle Raumoberflächen gereinigt, auch Wände und Deckenbereiche. Vielen Stäube haften an Wänden-Deckenbereichen aufgrund von kapillaren und elektrostatischen Kräften und

werden je nach Temperatur und Feuchtigkeit an Oberflächen angelagert und auch wieder an die Raumluft abgegeben. Ein alleiniges Aufstellen von Luftreinigungsgeräten ist daher zumeist nicht ausreichend und Oberflächenkontaminationen können nur durch eine aktive Reinigung entfernt bzw. in die Raumluft überführt und vom Luftreiniger eingesaugt werden.

Durch das Zusammenspiel von wissenschaftlich fundiert arbeitenden Baubiologen und behandelnden Medizinern können Auffälligkeiten in Innenräumen erfasst sowie Behandlungen und Reduzierungsmaßnahmen zielgerichtet abgestimmt werden. Eine verstärkte Zusammenarbeit ist hier gefordert, im Sinne eines präventiven und nachhaltigen Gesundheitsschutzes.

Zusammenfassung

Innenräume stellen den Hauptaufenthaltsort der Bevölkerung dar, wodurch die Exposition gegenüber Feinstäuben und chemischen Schadstoffen hauptsächlich in diesen stattfindet. Die Raumluftqualität ist von entscheidender Bedeutung, da der Mensch täglich mehr Luft atmet als Nahrung zu sich nimmt. Untersuchungen zeigen, dass die Innenraumluft gesundheitlich relevanter ist als die Außenluft. Feinstäube in Innenräumen können aufgrund ihrer Größe tief in die Lungen eindringen und Entzündungsreaktionen auslösen, die zu chronischen Lungenerkrankungen führen können. Besonders Kinder sind gefährdet, da sie mehr Luft atmen und höhere Staubmengen am Boden aufnehmen. Innenräume können eine Vielzahl von Schadstoffen enthalten, wobei die Bewertung komplex ist, da sich diese synergistisch auswirken können. Die Identifikation und Entfernung der Verursacher kann zu starker Verbesserung bei Beschwerden führen. Es wird allgemein angenommen, dass trockene Raumluft Atemwegsbeschwerden verursacht, doch es besteht kein eindeutiger Beweis dafür. Stattdessen können erhöhte Staubbelastungen und Schadstoffe die Ursache sein. Es gibt keine gesetzlichen Richtwerte für die Innenraumluft, aber die WHO betont, dass die primäre Belastung in Innenräumen stattfindet und höher sein kann als im Freien. Die Zusammenarbeit der wissenschaftlich fundierten Baubiologie mit Medizinern ermöglicht eine gezielte Behandlung der Gesundheitsprobleme im Zusammenhang mit Schadstoffbelastungen und der Raumluftqualität.

Rebernig A:
Fine dust and pollutants in indoor spaces

Summary: Indoor spaces are the main place of residence for the population, which means that exposure to fine dusts and chemical pollutants mainly takes place in them. Indoor air quality is of critical importance, as humans breathe more air than they eat every day. Studies show that indoor air is more relevant to health than outdoor air. Due to their size, fine dusts indoors can penetrate deep into the lungs and trigger inflammatory reactions that can lead to chronic lung diseases. Children are particularly at risk, as they breathe more air and absorb higher amounts of dust on the ground. Indoor environments can contain a variety of pollutants, and assessment is complex as they can have synergistic effects. Identifying and removing the polluters can lead to strong improvement in complaints. It is commonly believed that dry indoor air causes respiratory symptoms, but there is no clear evidence for this. Instead, increased dust levels and pollutants may be the cause. There are no legal guideline values for indoor air, but the WHO emphasises that primary exposure takes place indoors and can be higher than outdoors. The cooperation of scientifically based building biology with medical doctors enables a targeted treatment of health problems related to pollutant loads and indoor air quality.

Keywords: fine dust – pollutants in house dust – indoor toxicology – air pollution control – indoor air pollution

Literatur

1. World Health Organization. Air Quality Guidelines – Global Update 2005. Copenhagen: World Health Organization; 2006. (https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02). Zugegriffen: 05.09.2023.

2. Koller U. Feinstaub – Droht Gefahr auch im Innenraum? FLUGS-Fachinformationsdienst im GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit 2007; 1–9.

3. World Health Organization. Neues Instrument: AirQ+ misst gesundheitliche Auswirkungen der Luftverschmutzung. 2016. (https://www.who.int/europe/de/tools-and-toolkits/airq--software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution). Zugegriffen: 05.09.2023.

4. Umweltbundesamt. Kommissionen und Arbeitsgruppen: Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) (vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe). 2018. (www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwertevormals-ad-hoc#textpart-3). Zugegriffen: 05.09.2023.

5. Sundell J. Reflections on the history of indoor air science, focusing on the last 50 years. Indoor Air 2017; 27: 708–724.

6. World Health Organization. Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future. 2017. (https://apps.who.int/iris/handle/10665/341912). Zugegriffen: 05.09.2023.

7. Beckers J, Behrendt H, Cyrys J, Duggen S, Frankenberger M, Heinrich J, et al. Großes Netzwerk für kleine Teilchen – Aerosolforschung in der GSF. GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit; 2005.

8. Deutscher Wetterdienst. Feinstaubmessung in Kurorten. Freiburg: Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung; 2015. (www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/medizin/broschuere_feinstaub.pdf?__blob=publicationFile&v=2). Zugegriffen: 05.09.2023.

9. International Agency for Research on Cancer, Word Health Organization. Press Release N° 221. IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. (https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr221_E.pdf). Zugegriffen: 05.09.2023.

10. Wilker EH, Preis SR, Beiser AS, Wolf PA, Au R, Kloog I, et al. Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter, Residential Proximity to Major Roads and Measures of Brain Structure. Stroke 2015; 46: 1161–1166.

11. Umweltbundesamt. Gesundheitliche Bedeutung von Feinstaub in der Innenraumluft. Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 2008; 51: 1370–1378.

12. Hermanns-Clausen M, Heinemeyer G, Jovanovic S, Link B, Rasenack R, Schwenk M, Windstetter DK. Umed Info 16 – Umwelt und Kind. 2004.

13. Uhl M, Hohenblum P, Scharf S, Trimbacher C. Hausstaub – Ein Indikator für Innenraumbelastung. Umweltbundesamt; 2004. (www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE258.pdf). Zugegriffen: 05.09.2023.

14. Fachbereich Umweltmesstechnik. VDI 4300 Blatt 11: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für die Erfassung von luftgetragenen Partikeln im Innenraum – PM <(Index)2,5>-Fraktion. Verein Deutscher Ingenieure; 2013.

15. European Environment Agency, Institute for Environment and Sustainability. EEA Report No 5/2013. Environment and human health. Joint EEA-JRC report. Luxemburg: European Environment Agency; 2013.

16. von Hahn N. „Trockene Luft" und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 2007; 67: 103–107.

Interessenkonflikt: A. Rebernig erklärt, dass Verbindungen zur Fa. Ingenieurbüro Rebernig in Form von Gebäudediagnostik bestehen.

Hinweis: Dieser Artikel ist ersterschienen in umwelt – medizin – gesellschaft 35/2/2022. Wir danken für die freundliche Erteilung der Nachdruckgenehmigung.

Dipl.-Ing. Armin Rebernig, B.Sc.
Im Auftrag/Mitglied der IGUMED
Baubiologe & Messtechniker IBN/SBM
Unterberg 19
A-9560 Feldkirchen

info@bau-biologie.at
www.bau-biologie.at