AGÖF – Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (Hrsg.)

Umwelt, Gebäude & Gesundheit:
Schadstoffe, Gerüche und Sanierung

AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer
Forschungsinstitute (Hrsg.)

Umwelt, Gebäude & Gesundheit

Schadstoffe, Gerüche und Sanierung

Ergebnisse des 11. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 17. und 18. November 2016 in Hallstadt bei Bamberg

2016

AGÖF – Springe-Eldagsen

In diesem Buch werden die Beiträge des 11. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. vom 17. und 18. November 2016 in Hallstadt bei Bamberg veröffentlicht.

Herausgeber:
Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V.

Geschäftsstelle:
im Energie- und Umweltzentrum am Deister

D - 31832 Springe-Eldagsen

Vorstand der AGÖF:
Elke Bruns-Tober, Dr. Wigbert Maraun, Jörg Thumulla

Wissenschaftlicher Beirat:
Elke Bruns-Tober, Umwelt- und Gesundheitsinstitut, Wittingen
Dr. Heidrun Hofmann, Bremer Umweltinstitut, Bremen
Dr. Wigbert Maraun, ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel
Nicole Richardson, Sachverständigenbüro Richardson, Witten
Martin Wesselmann, Gebäudediagnostik Wesselmann, Hamburg
Jörg Thumulla, anbus analytik GmbH, Fürth

Redaktion:
Sabine Weber-Thumulla

Veranstalter:
Analyse und Bewertung von Umweltschadstoffen (AnBUS) e.V.
Mathildenstraße 48
D - 90762 Fürth

Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche und Sanierung; Tagungsband des 11. AGÖF-Fachkongresses 2016 / AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. Bearb. Sabine Weber-Thumulla. - Springe: AGÖF, 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung auch von Teilen außerhalb des Urheberrechtgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Autoren, Herausgeber und Verlag, redaktionelle Mitarbeiter und Herstellungsbetriebe haben das Werk nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Inhaltliche und technische Fehler sind jedoch nicht vollständig auszuschließen. Die Wahl der Rechtschreibregeln lag bei den Autoren.

© 2016 Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., Springe-Eldagsen,

1: Auflage mit online-Ergänzungen unter www.agoef.de

Umschlagsgestaltung: Harald Hans Vogel, Fürth

Titelfoto: Jörg Thumulla (Rathaus Hallstadt)

ISBN 978-3-930576-10-4

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 9

I. Gerüche 11

Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V (AGÖF) 12

Jörg Thumulla, Matthias Schmidt, Wigbert Maraun, Heidrun Hofmann, Norbert Weis

Möglichkeiten und Grenzen von Geruchsbewertungsverfahren 20

Matthias Schmidt, Jörg Thumulla

„Thirdhand tobacco smoke“: Zigarettenrauch- Rückstände im Hausstaub – ein Beitrag zum Krebsrisiko für Kleinkinder 45

Wigbert Maraun und Sonja Pfeil

II. Aktuelle Aspekte der Innenraumhygiene 49

Krebsrisikoabschätzungen von Verunreinigungen der Innenraumluft 50

Helmut Sagunski 50

Neue CO_2-Richtwerte und Lüftungskonzepte – ein praktischer Zugang 54

Peter Tappler, Felix Twrdik, Bernhard Damberger, Hans-Peter Hutter

Das Phänomen der schwarzen Wohnungen 64

Martin Wesselmann

III. Asbesthaltige Spachtelmassen 69

Messverfahren und Exposition von Asbest bei handwerklichen Tätigkeiten an Asbestspachtelmassen 70

Emmanuel Temme, Volker Jurk, F. Jörg Wohlgemuth

Methodenvergleich zur Auswahl geeigneter analytischer Verfahren zum Nachweis von Asbest in Wand und Deckenbekleidungen SBH ./. BIA ./. VDI 75

Sebastian Bien

Das Untersuchungskonzept der Schulbau Hamburg zur Feststellung asbesthaltiger Wand- und Deckenbekleidungen 80

Martin Wesselmann

IV. Radon 87

Regelungen und Referenzwert für Radon – Gesetzesentwurf des neuen Strahlenschutzgesetzes 88

Winfried Meyer

Radon-Messverfahren 91

Thomas Haumann

**Radonsanierungen:
Maßnahmen gegen den Eintritt von Radon in Gebäude 106**

Gerhard Binker

V. Biogene Belastungen in Gebäuden 111

**Reproduzierbare Messbedingungen für Schimmelpilze
am Beispiel des WTA-Merkblattes zur Sanierungskontrolle 112**

Nicole Richardson

Hintergrundwerte von Actinomyceten – erste Ergebnisse 127

Elwira Grychtol, Michael Köhler, Heidrun Hofmann, Stephan Hackmann, Norbert Weis

**Mykotoxine: Thesen
Ein Review wissenschaftlicher Veröffentlichungen 138**

Carmen Kroczek, Jochen Kern, H.M. Hanauske-Abel

**Das sogenannte Dachstuhlurteil des Bundesgerichtshofs
- eine Fallbeschreibung - 153**

Jochen Kern

Der neue Schimmelleitfaden des Umweltbundesamtes 159

Kerttu Valtanen

VI. Gebäudekataster 163

Schadstoffkataster: Vorgehensweise und Mindestanforderungen 164

Martin Kessel

**Vorschlag für Mindestanforderungen von
Gefahrstoffbegutachtungen in der Bausubstanz 183**

Martin Wesselmann

**Schadstofferhebung in öffentlichen Gebäuden
- Konzept der Stadt Salzgitter 190**

Elke Bruns-Tober, Jacqueline Wolff

VII. Alt- und Neulasten in Gebäuden: Fallbeispiele 205

**Das Vorkommen von Ameisen- und Essigsäure in der Raumluft
von Fertighäusen in Holzständer-Bauweise 206**

Wigbert Maraun, Peter Unger und Stephan Sänger

**Auffallende Gerüche als Anfangsverdacht für massive Belastungen
durch Innenraumschadstoffe – 3 Fallbeispiele 232**

Martina Clemens-Ströwer

Air sampling for Per- and Polyfluorinated Chemicals (PFCs) in stores selling 'outdoor' equipment 245

Manfred Santen, Kevin Brigden, Melissa Wang, Ling-Yao Chen, Frank Neugebauer, Barbara Kafadaroglu, Annekatrin Dreyer

Auffallende Gerüche als Anfangsverdacht; Sanierung durch Lüftungstechnik – Erfahrungsbericht Rathaus Hallstadt 250

Simone Krainz

VIII. Verzeichnis der Autoren 256

IX. Online-Ergänzungen 259

Fogging: Adhäsion als primärer Auslöser der „Schwarzstaub"-Ablagerung ..... Fehler! Textmarke nicht definiert.

Wigbert Maraun

AWMF-S2k-Leitlinie „Medizinisch klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition in Innenräumen" .... Fehler! Textmarke nicht definiert.

Julia Hurraß, Gerhard A. Wiesmüller

Irreguläre Prozesse bei der Anreicherung von Quecksilber an Gold nach der VDI-Norm 2267, Bl. 9? 269

Wigbert Maraun, Steffen Ulrichson

Vorwort

Die AGÖF-Fachkongresse Umwelt, Gebäude & Gesundheit präsentieren in gewohnter Tradition aktuelle Neuigkeiten aus Forschung, Entwicklung und Praxis in den Bereichen Innenraumschadstoffe, Raumluftqualität, schadstoffarmes Bauen, Gerüche, Schimmelpilze und vieles mehr. Schwerpunktthemen des 11. AGÖF-Fachkongresses, der diese Mal in Hallstadt bei Bamberg stattfindet, sind die Bereiche Schadstoffe, Gerüche und Sanierung.

Zum letzten Kongress 2013 in Nürnberg fanden mehrere langfristige AGÖF-Projekte ihren Abschluss und die Ergebnisse wurden dem Fachpublikum präsentiert. Dazu gehörten das Forschungsprojekt "Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität - Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)", der AGÖF- Geruchsleitfaden und die umfassend aktualisierten AGÖF-Orientierungswerte 2013 für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft (VOC).

In den darauf folgenden Jahren schloss sich eine Phase der Umsetzung und Anwendung dieser Erkenntnisse im Arbeitsalltag an, das spiegelt ein Teil der Vorträge des 11. AGÖF-Fachkongresses wieder. Es wurden Erfahrungen mit der Anwendung des AGÖF Geruchsleitfadens und der vom AIR (Ausschuss für Innenraumrichtwerte) entwickelten Geruchsleitwerte gesammelt und in der Praxis erprobt. Außerdem wurde an verlässlichen Geruchs- und Akzeptanzschwellen gearbeitet. Die hierbei gesammelten Erfahrungen flossen beispielsweise in die AGÖF- Stellungnahme ein, die zum Diskussionspapier des Ausschusses für Innenraumrichtwerte AIR „Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten“ eingereicht wurde.

Weitere Stellungnahmen wurden zu den „Handlungsempfehlungen zur Beurteilung von Feuchteschäden in Fußböden“ des Umweltbundesamtes abgegeben, sowie in Kooperation mit anderen Verbänden zum Entwurf des neuen UBA-Schimmelleitfaden 2016. Schimmelpilze sind und bleiben ein aktuelles Problem und haben hier wieder einen eigenen Themenblock. Dort geht es u.a. um medizinisch klinische Diagnostik, die Vermeidung von Schimmelpilzwachstum auf Winterbaustellen und in Gipskartonplatten, reproduzierbare Messbedingungen, Mykotoxine und Hintergrundwerte für Actinomyceten.

Mit dem VDI/GVSS-Papier „Asbesthaltige Putze, Spachtelmassen und Fliesenkleber in Gebäuden - Diskussionspapier zu Erkundung, Bewertung und Sanierung“ wurden im Juni 2015 vom Verein Deutscher Ingenieure e.V. und dem Gesamtverbands Schadstoffsanierung e.V. Asbest-Thematiken neu angestoßen. Im Rahmen des Kongresses werden unterschiedliche Herangehensweisen und Positionen der AGÖF und anderer Beteiligter vorgestellt und diskutiert.

Weitere Themenblöcke sind Radon und Gebäudekataster. Radonbelastungen aus dem Boden können in bestimmten Regionen Deutschlands sehr hoch werden, was bei der Planung und dem Bau von Gebäuden immer noch nicht ausreichend Berücksichtigung findet. In den Vorträgen wird der aktuelle Stand der Regulierung vorgestellt, weitere Themen sind Messverfahren, Bewertungen und Sanierungsmöglichkeiten. Beim Thema Gebäudekataster werden verschiedene Vorgehensweisen und Mindestanforderungen bei

der Erstellung vorgestellt. Am Beispiel des Konzepts der Stadt Salzgitter zur Schadstofferhebung in öffentlichen Gebäuden werden Wege für die praktische Umsetzung gezeigt.

Abgerundet wird das Kongressprogramm mit aktuellen Fallbeispielen von Alt- und Neulasten in Gebäuden. Präsentiert wird u.a. die Thematik der Essig- und Ameisensäure in älteren, aber auch neueren Fertighäusern. Hierfür wurde ein neues analytisches Verfahren zum Nachweis und zur Bewertung der Reizwirkung und Geruchsbelästigung durch niedere Carbonsäuren entwickelt. Abschließend folgt ein Vortrag zum Thema der polyfluorierten Verbindungen in der Raumluft, das immer stärker in die öffentliche Diskussion drängt.

Der Verband AGÖF freut sich, Ihnen auch in diesem Jahr wieder ein spannendes und breit gefächertes Spektrum an Fachvorträgen und Diskussionen anbieten zu können. Ein großes Dankeschön geht an die vielen Akteure, die an der Gestaltung des Kongresses mitgewirkt haben. Das sind insbesondere das AGÖF-Kongressbüro in Fürth und die ehrenamtlich tätigen Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats. Ebenso kann das inhaltliche Programm nur durch den Input und den interdisziplinären Austausch der Mitgliedsinstitute der AGÖF und der beteiligten Gastreferenten in dieser Bandbreite angeboten werden.

Wir wünschen den Besuchern neben den spannenden Vorträgen genügend Zeit zum Austausch und zu Kontaktaufnahmen und hoffen, dass sie jede Menge Impulse für ihre Arbeit mit nach Hause nehmen können.

Jörg Thumulla, Wigbert Maraun, Elke Bruns-Tober und Marlies Ante

Vorstand und Geschäftsführung der AGÖF

I. Gerüche

Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V (AGÖF)

Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten, Entwurf der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden zur öffentlichen Diskussion bis Ende Dezember 2015

Jörg Thumulla, Matthias Schmidt, Wigbert Maraun, Heidrun Hofmann, Norbert Weis,

Einleitung

Die AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.) begrüßt es, dass sich die AIR der Problematik von Geruchsbelästigungen in Innenräumen angenommen hat. Die AGÖF repräsentiert Institute, die sich in der Praxis mit der gutachterlichen Bewertung von Geruchsproblemen beschäftigen. Seit Veröffentlichung des vorläufigen Geruchsleitwertkonzeptes wurden zahlreiche VOC-Untersuchungen mit den Ergebnissen sensorischer Prüfungen verglichen.

Dabei zeigt sich, dass es aus gutachterlicher Sicht sowohl chemisch analytische Verfahren als auch direkte olfaktorische Verfahren zur Bewertung von Geruchsproblemen in Innenräumen notwendig sind und daher abhängig von der Problemstellung parallel angewendet werden müssen.

Zuverlässige Geruchs- oder Akzeptanzschwellen sind zur Bewertung von VOC-Untersuchungen in Bezug auf Geruchsbeschwerden unerlässlich, was weil sie eine Identifizierung der für das Geruchsproblem verantwortlichen relevanten Substanzen und damit eine Identifizierung der für die Geruchsbelästigung relevanten Bauteile oder Baustoffe ermöglichen.

Zusammenfassung

Das Geruchsleitwertkonzept der AIR soll dazu dienen, auf Basis von VOC-Messungen Geruchbelästigungen in Innenräume, die auf geruchsaktive Einzelsubstanzen zurückzuführen sind, anhand von Geruchsleitwerten regulatorisch zu beurteilen. Diese Herangehensweise ermöglicht es Geruchsstoffe zu beurteilen, die chemisch-analytisch im Rahmen der in Innenräumen durchgeführten Standardanalytik erfasst werden können und für die validierte Daten zur Geruchsschwelle vorliegen. Additive synergistische oder maskierende Wirkungen können aufgrund der Einzelsubstanzspezifischen Ableitung nicht berücksichtigt werden.

Ein Nachteil der vorgeschlagenen Ableitung der Geruchsleitwerte ist die starre Anwendung von Faktoren zur Ableitung der Geruchsleitwerte ausgehend von den Geruchsschwellenwerten. Die Hedonik, also die Beurteilung wie angenehm oder unangenehm ein Geruch ist, spielt dabei keine Rolle. Olfaktometrische Untersuchungen zur Bestimmung

von Akzeptanzschwellen zeigen jedoch, dass der überwiegend angenehm empfundene Geruch des alpha-Pinens noch bei einem Vielfachen der Geruchsschwelle akzeptiert wird, während der größtenteils unangenehm empfundene Geruch des Naphthalins bereits knapp über der Geruchsschwelle als inakzeptabel beurteilt werden.

Bei höheren Aldehyden finden sich häufig Überschreitungen des Geruchsleitwerts I (vGLW I), aber dennoch akzeptable Raumluftqualitäten, was auf die ausgeprägte Änderung der Geruchsnote und dem damit verbundenen Wechsel der Hedonik im Konzentrationsverlauf oberhalb der Geruchsschwelle zurückzuführen sein dürfte. Bei Benzothiazol ist die Raumluft bei Reingerüchen ab vGLW I nicht akzeptabel, aber durch Mischgerüche maskierbar und auch bei dem Doppelten des vGLW I noch akzeptabel. Bei Phenolen/Kresolen oder Naphthalin ist die negative Akzeptanz der Raumluft für die meisten Nutzer bereits ab auf Basis des Konzeptes abgeleiteten vGLW I festzustellen. Insgesamt zeigt sich eine relevante Quote von Fehlbeurteilungen, wenn ausschließlich die Analyse von Einzelgeruchssubstanzen und die Anwendung der vGLW einer gutachterlichen Bewertung zugrunde gelegt werden

Schlussendlich erschließt es sich nicht, warum in der Praxis getestete und validierte personengebundene, sensorische Verfahren[1] aufgrund angeblich zu hoher zugelassener Fehlertoleranzen nicht regulatorisch umsetzbar sein sollen. Im Gegenzug aber ein Geruchsleitwertkonzept hierzu geeignet sein soll, das auf einem durch die geringe Probandenzahl sehr unsicherem Geruchsschwellenbestimmungsverfahren beruht und für dessen Berechnung von vielen zum Teil zumindest diskussionswürdigen Annahmen ausgegangen wird.

Letztendlich ist es aus Sicht der AGÖF für die Bewertung von Geruchsbeschwerden in der Innenraumluft notwendig sowohl sensorische als auch chemisch analytische Bewertungskonzepte einzusetzen. Zur validen Ableitung von Geruchsleitwerten sehen wir weiteren Forschungsbedarf, um die Korrelation zwischen Konzentration eines Stoffes, seiner Geruchsschwelle und seiner Akzeptanz für die Nutzer besser bewerten zu können.

Risikokommunikation

Eine Geruchsbelästigung stellt sich als System von Empfindungen auf sensorische Wahrnehmungen ausgelöst durch stoffliche Einwirkungen dar.

Das Konzept der Bewertung von Geruchsimmissionen in Innenräumen durch den Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) basiert auf der Bereitstellung von Geruchsleitwerten als Prüfwerte für VOC-Messungen. Es stellt sich die Frage, ob diese Bewertung nur bei solchen VOC-Messungen herangezogen werden sollte, bei denen eine Geruchsimmission der Anlass der Messung gewesen ist oder ob eine grundsätzliche Bewertung von VOC-Messwerten anhand von Geruchsleitwerten vorzunehmen ist.

Im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Geruchsproblematiken in Innenräumen werden häufig auch VOC-Messungen durchgeführt. Jedoch gelingt es nur selten anhand von VOC-Messergebnissen eine Erklärung der Geruchsproblematik herbeizuführen. Der Ansatz der Bewertung mit Geruchsleitwerten suggeriert, dass die VOC-Messung ein

[1] Schmidt M, Thumulla J (2010): Fehlerbetrachtung von Geruchsprüfungen anhand exemplarischer Auswertungen durchgeführter Untersuchungsprojekte. In Umwelt, Gebäude & Gesundheit – Innenraumschad¬stoffe Fogging und Gerüche, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe

geeignetes Instrument zur Lösung ist, bzw. dass eine Unterschreitung aller Geruchsleitwerte eine Geruchsbelästigung ausschließt.

Dem Entwurf fehlt eine Empfehlung, dass zunächst eine Entscheidung zu treffen ist, ob eine konkrete Geruchsproblematik durch eine VOC-Messung überhaupt zu klären ist. Ohne diese Empfehlung erscheint die Anwendung dieses Geruchsleitwertkonzeptes als zu statisch und nicht zielführend. Unberücksichtigt bleiben die vielen Beschwerdefälle, in denen keine auffälligen oberhalb der geruchsschwelle liegenden VOC-Werte zu messen sind. Außerdem bleiben die wichtigen Themen der Geruchsempfindung und der Konfliktkommunikation mit Raumnutzern in dem AIR-Konzept völlig unberücksichtigt.

Problem der Einzelstoffbetrachtung

Als zentrales Instrument zur Beurteilung einer Geruchsituation schlägt das AIR-Konzept Geruchsleitwerte für Einzelstoffe vor. Die grundlegende Problematik der Kombinationswirkungen verschiedener geruchsaktiver Substanzen wird in dem Text nur am Rande gestreift.

Gerüche können sich in ihrer Geruchswirkung additiv verhalten, sich wechselseitig verstärken oder abschwächen. Es gibt Gerüche die sich aus einer Vielzahl von Substanzen zusammensetzen, wie

die im Zusammenhang mit Geruchsbelästigungen relevante Stoffgruppe der Iso-Dodecene (typischer über die Jahre sich kaum vermindernder „Teppichbodenfehlgeruch“), die mit Hilfe von einzelstoffbezogenen geruchsleitwerten nicht beurteilt werden können.

Das AIR-Konzept berücksichtigt ausschließlich eine abschwächende („maskierende“) Wechselwirkung in Geruchsstoffmischungen. In den Ausführungen wird jedoch richtigerweise erwähnt, dass in der Innen- und Außenluft in der Regel Mischungen von Geruchsstoffen vorliegen. Nur unter der wissenschaftlich nicht begründbaren Annahme, dass sich deren Geruchswirkungen ausnahmslos wechselseitig abschwächen, lassen sich Geruchsleitwerte für Einzelsubstanzen in der Praxis überhaupt anwenden, sofern die Geruchssituation nicht ausschließlich durch eine Substanz geprägt ist. Das Konzept berücksichtigt damit unzureichend die additive Wirkung von Geruchsstoffen.

Ableitungsgrundlage auf Basis des ODT50

Das Konzept zur Ableitung der Geruchsleitwerte basiert auf der Annahme, dass chemische Subtanzen bei einer sehr deutlichen Überschreitung ihrer Geruchsschwelle von den Raumnutzern als unangenehm bewertet werden. Hierbei wird jedoch nicht berücksichtigt, dass viele Substanzen über ihren Konzentrationsverlauf oberhalb der Geruchsschwelle einen sehr unterschiedlichen Verlauf der Hedonik aufweisen und deshalb in ihrer Akzeptanz von den Raumnutzern unterschiedlich bewertet werden. Exemplarisch wurde dies für die Substanzen Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, alpha-Pinen, Acetophenon, 2-Nonenal und 2-Ethylhexanol geprüft (eine ausführliche Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen ist exemplarisch für die Substanzen Naphthalin und 1-Methylnaphthalin den

beigefügten Veröffentlichungen zu entnehmen. Die (vorläufigen) Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst[2]:

Tab. 1 ODT50: physiologische D50-Reaktion = Geruchsschwelle; vGLWI/vGLWII: auf Grundlage des Geruchsleitwertkonzeptes abgeleitete vorläufige Geruchsleitwerte; PD-Wert bei vGLWI/vGLWII: Bestimmung mit Hilfe der experimentell ermittelten logarithmisch normalverteilten Akzeptanzverteilung; TOA: threshold of odour annoyance – Überschreitung eines PD-Wertes von 30% mit Irrtumswahrscheinlichkeit alpha = 10%

	Panel-size	regression coefficient (lognormal-distribution)	ODT50 [µg/m³]	vGLWI [µg/m³]	PD-value at vGLWI [%]	vGLWII [µg/m³]	PD-value at vGLWII [%]	**TOA [µg/m³]**	Factor TOA / ODT50
Naphthalene	187	0,95	2,3	14	85	110	>99	**4,3**	1,9
1-Meythylnaphthalene	23	0,94	2,8	17	95	134	>99	**8,5**	3,0
alpha-Pinene	49	0,98	1011	6000	97	48500	>99	**2700**	2,7
Acetophenone	203	0,96	5,5	33	51	262	>99	**36**	6,5
2-Nonenal	84	0,98	5,2	31	80	250	>99	**9,3**	1,8
2-Ethylhexanole	115	0,95	40	239	72	1915	>99	**133**	3,3

Anhand der Ergebnisse sind folgende Feststellungen zu treffen:

- Wird der TOA (Akzeptanzschwelle) als Bewertungsmaßstab für eine unzumutbare Geruchsbelästigung herangezogen schwankt der Faktor zwischen ODT50 und der unzumutbaren Geruchsbelästigung zwischen 1,8 und 6,5. Dieser Unterschied ist prinzipiell mit der unterschiedlichen hedonischen Wirkung der Geruchstoffe zu erklären. Acetophenon wurde beispielweise durchgehend von den Probanden mit blumigen Geruchsnoten oder einem angenehmen Marzipangeruch assoziiert.
- Werden die auf Basis des Geruchsleitwertkonzeptes abgeleiteten vorläufigen Geruchsleitwerte als Bewertungsmaßstab herangezogen, ist selbst bei einer hedonisch eher positiv zu bewertenden Substanz wie Acetophenon bei vGLWI eine Nutzerunzufriedenheit von 51% zu erwarten. Dies deckt sich nur sehr eingeschränkt mit der Definition des vGLWI (33µg/m³), dass ein Geruch bei dieser Konzentration *wahrgenommen werden kann* und *möglicherweise als belästigend* empfunden wird. Aus der Geruchsschwellenverteilung für Acetophenon lässt

[2] Schmidt, M.; Thumulla, J.; Kroczek, C, Lisow, W.; Mertens, J.; Köhler, M. ;Pilgramm, M. "The Assessment of Odour Annoyance in Indoor Environment – a new Concept using statistically derived Acceptance Limits" (Healthy Buildings May 2015)l

Lisow W., Schmidt. M., Mertens J., Thumulla J., Weis N., Köhler M., and Pilgramm M.: (2015) Olfactoric determination of the odour detection threshold and the identification threshold of Naphthalene (Healthy Buildings May 2015)

Stolz D., Hofmann H., Weis N., Köhler M., Lisow W., Schmidt M.,Schulz N. (2015) Determination of Odour Perception Threshold, Universität Kassel: 18. Workshop Geruch und Emissionen bei Kunststoffen (2016)

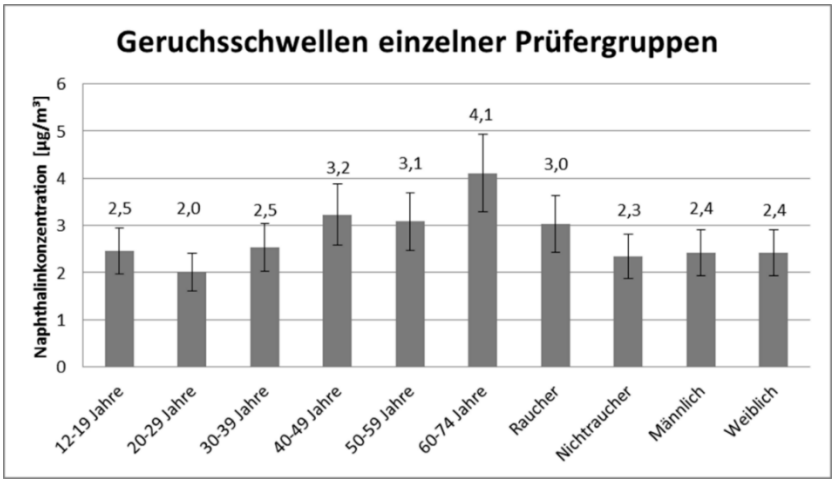
Schmidt M., Thumulla J.(2016) "Assessment of Odours in Indoor Air using Determined Acceptance Thresholds" Universität Kassel: 18. Workshop Geruch und Emissionen bei Kunststoffen (2016)

sich bei einer Konzentration von 33µg/m³ (=vGLWI) eine Geruchswahrnehmung bei ca. 96% der Probanden ableiten.

- Der konstante Faktor zwischen den auf Basis des Geruchsleitwertkonzeptes abgeleiteten vorläufigen Geruchsleitwerten und der Geruchsschwelle führt zu einer sehr starken Streubreite der zu erwartenden Nutzerunzufriedenheit zwischen den einzelnen Substanzen.
- Die Definition des vGLWII einer *deutlichen Geruchswahrnehmen*, das *in der Regel als belästigend bis erheblich belästigend* empfunden wird, deckt sich nur eingeschränkt mit der zu erwartenden Nutzerunzufriedenheit von durchgängig größer 99%, so dass der Faktor 48 für die bisher untersuchten Stoffe auf Basis der bisherigen Definition des vGLWII eindeutig zu hoch angesetzt ist.

Qualitätsanforderungen bei der ODT50-Bestimmung

Bei der Bewertung von Geruchsschwellen zählen zur Qualitätsstufe 1 (höchste Qualität) alle Ergebnisse zu Geruchswahrnehmungsschwellen nach einer standardisierten Methode, wie z. B. der EN 13725 oder einer vergleichbaren hochwertigen Methodik. Gemäß Punkt 6.7.3 dieser Norm muss die Mindestgröße des Panels bei jeder Messung nach der nachträglichen Auslese vier Personen betragen. Die Auswahl des Panels kann damit die resultierende Geruchsschwelle entscheidend beeinflussen (siehe nachfolgende Grafik):



Eine weitgehend repräsentative Auswahl des Panels ist schon alleine bezogen auf die Parameter Geschlecht, Alter und Raucher/Nichtraucher bei einer Größe des Panels von vier Probanden nicht möglich. Besonders vor dem Hintergrund der Verwendung der abgeleiteten Geruchsleitwerte als zukünftiger regulatorischer Maßstab zur Bewertung eines Mangels im Sinne des Baurechts oder Mietrechts in einem Gebäude (im gesamten Gebäudebestand Deutschland), ist die Ableitung einer Geruchsschwelle, vor allem aufgrund der interindividuellen Schwankungsbreite der Geruchswahrnehmung, mit einer so geringen Panelgröße, selbst bei einer sehr hohen Präzision der einzelnen Prüfer, nur sehr eingeschränkt als „hochwertige Methodik“ einzustufen.

Geruchsleitwerte und Hintergrundwerte

Der Vergleich der vorläufigen Geruchsleitwerte mit den statistischen Vergleichswerten der AGÖF zeigt, dass der vGLW I vieler Aldehyde im Bereich des Normalwertes oder unterhalb des Orientierungswertes liegt. Hieraus folgt, dass beispielsweise für Hexanal statistisch gesehen in mehr als 50% der Wohnungen/Gebäude in Deutschland die Möglichkeit einer Geruchsbelästigung besteht (unter der Annahme der Repräsentativität der AGÖF-Vergleichswerte).

Geruchsstoff	CAS-Nr.	vGLW I [µg/m³]	vGLW II [µg/m³]	AGÖF-P50 [µg/m³][3]	AGÖF-P90 [µg/m³]
Ethanal	75-07-0	20	100	20	54
Butanal	123-72-8	8	70	2,0	10
Pentanal	110-62-3	9	70	4,0	20
Hexanal	66-25-1	8	70	11	55
Heptanal	111-71-7	5	40	2,0	6,7
Octanal	127-13-0	5	40	2,0	8,0
Nonanal	124-19-6	20	150	6,0	19
Decanal	112-31-2	20	100	2,0	7,0

Die gutachterliche Praxis zeigt zudem, dass oftmals für die Aldehyde die Geruchsleitwerte überschritten werden, es aber entweder keine Geruchsbeschwerden gibt oder die nachweisbaren Aldehyde nicht für die vorhandenen Geruchsbelästigungen ursächlich sind.

Gesundheitliche Relevanz von Gerüchen

Das AIR-Konzept geht in seinem Text zu den vorläufigen Geruchsleitwerten davon aus, dass die geruchliche Wahrnehmung einer Substanz keinen anerkannten toxischen Wirkungsendpunkt darstellt und deshalb bei dem Verfahren der Ableitung von Richtwerten für die Innenraumluft nicht berücksichtigt wird. Weiterhin ginge nach allgemeiner toxikologischer Auffassung von Geruchsstoffen, die eine Geruchswahrnehmung auslösen, keine neurotoxische Wirkung aus, sofern keine neurogene Irritation (trigeminale Reizung) beteiligt sei. Gleichwohl wären Geruchsstoffe im weitesten Sinne als „neuroaktiv“ anzusehen und könnten Befinden, Verhalten und Leistungen modulieren. Dabei seien persönliche Bewertungen von Geruchsempfindungen von wesentlicher Bedeutung und etwaige Geruchswirkungen hingen von individuellen Erfahrungen und interindividuellen Unterschieden ab.

Gerüche in der Umwelt können sich in verschiedener Weise auf die Gesundheit und das Befinden auswirken. Zu unterscheiden sind direkte physiologische Wirkungen, die Wahrnehmung eines Geruchs, die Geruchsbelästigung als Wirkung des Geruchs auf emotionaler Ebene und indirekte physiologische Wirkungen als Folge der Geruchsbelästigung und des damit verbundenen chronischen Stresses (Caroline E.W. Herr, Gerhard A. Wiesmüller und Dorothee Twardellas: Umweltmedizinische Relevanz von

[3] Hofmann, H.; Erdmann, G.; Müller A. (2014): Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität - Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege), UFOPLAN Vorhaben FKZ 3709 62 211

Gerüchen in der Umwelt in Umweltmed–Hygiene-Arbeitsmed 18 (1)27 29 (2013). In der Literatur gibt es zahlreiche Hinweise, wie sich chronische Stressreaktionen beispielsweise auf den Hormonhaushalt oder den Blutdruck auswirken und sich in unterschiedlichen Symptomen oder Erkrankungsbildern manifestieren. Eine Auseinandersetzung zu diesem Themenkomplex und damit eine fundierte medizinisch-toxikologische Bewertung der Wirkung von Geruchsstoffen auf die Gesundheit des Menschen fehlen im GLW-Konzept.

Definition zum Baurecht und Mangelbegriff fehlt

Die Ableitung der Geruchsleitwerte stützt sich ausschließlich auf den Ausschluss unzumutbarer Belästigungen im Sinne des Baurechts. Die meisten Innenraumuntersuchungen im Zusammenhang mit Geruchsbeschwerden werden aber nach den Erfahrungen der AGÖF-Institute nicht zur Beurteilung unzumutbarer Belästigungen durchgeführt, sondern zur Abklärung ob ein zivilrechtlich relevanter Mangel im Sinne des Kauf- Werkvertrags- oder Miets- oder Arbeitsrechtsrechtes vorliegt. Nähere Ausführungen hierzu sind im AGÖF-LEITFADEN „GERÜCHE IN INNENRÄUMEN – SENSORISCHE BESTIMMUNG UND BEWERTUNG“ (25.09.2013) niedergelegt. Ausführungen, wie das Konzept der Geruchsleitwerte in anderen Rechtsgebieten anzuwenden ist, fehlen.

Ablenkungsfaktor in Innenräumen

Der für die Innenraumluft unterstellte Ablenkungsfaktor kann aus gutachterlicher Sicht nicht verallgemeinert werden. So ist bei Gerüchen mit einer positiven Hedonik tatsächlich davon auszugehen, dass der Geruch nur bewusst wahrgenommen wird. Bei Störgerüchen, welche oftmals mit einer negativen Hedonik verbunden sind, wird der Geruch von betroffenen Nutzern oft weit unterhalb der Geruchsschwelle eines geschulten Prüfers wahrgenommen. Zudem ist bei Störgerüchen nicht von einem Maskierungseffekt durch andere Substanzen in der Raumluft auszugehen. Vor diesem Hintergrund ist eine allgemeine Anwendung eines Ablenkungsfaktors in Frage zu stellen und für bestimmte Störstoffe eher die Einführung eines Sensibilisierungsfaktors bei dauerhafter Aussetzung von Geruchsstoffen zu diskutieren.

Randbedingungen der Messung

Die Definition der Randbedingungen (VOC-Messung eine Stunde nach dem Lüften) ist als praxisfremd anzusehen, da für eine geringe Mehrinformation ein erheblicher Mehraufwand zu betreiben ist. Zudem ist durch diese Maßnahme von einer geringeren Reproduzierbarkeit der Messbedingungen auszugehen, weil der durch Fensterlüftung austauschbare Luftanteil je nach Gebäude bzw. Raum sowie den aktuellen Wetterbedingungen sehr stark schwankt und die Anreicherung nach dem Lüften vom Luftwechsel sowie Sekundäreffekten abhängig ist. Durch die erhöhte Unsicherheit bei der Reproduzierbarkeit der Messwerte kann ein Rückgang der problematischen Raumluftkonzentrationen nur erschwert messtechnisch nachgewiesen werden. Die Bestimmung der VOC-Konzentrationen nach 8 Stunden gewährleistet zwar nicht immer die Messung im Gleichgewichtszustand (dies gilt nur für mittlere Luftwechselraten von $n \geq 0{,}5\ h^{-1}$), es ist jedoch aufgrund des größeren Zeitraumes von einer deutlich besseren Reproduzierbarkeit der Messwerte auszugehen und stellt zudem bezogen auf Wohngebäude einen wesentlich repräsentativeren Zustand für Nutzungsbedingungen dar.

Ein Lüftungsmanagement welches jede Stunde einen Lüftungsvorgang vorsieht ist möglicherweise in Schulen als praktikabel anzusehen, da bei Klassenräumen ohne Lüftungsanlagen ohnehin alle 45 Minuten zur Einhaltung der CO_2-Konzentration gelüftet werden muss. Bereits in Bürogebäuden wäre die Notwendigkeit stündlichen Lüftens als Mangel anzusehen, da die Mitarbeiter 10% ihrer Arbeitszeit mit Lüften beschäftigt wären. In Wohngebäuden ist eine stündliche Lüftung nicht praktikabel. Somit fehlt dem Konzept bezogen auf die Messbedingungen eine Differenzierung bezüglich der Nutzungsarten.

Maßnahmen bei Überschreitung von Geruchsleitwerten

In der Empfehlung werden nur Minderungsmaßnahmen bei Geruchsbelastungen beschrieben, die für neu eingebrachte Materialien gelten. Andere Ursachen einer Geruchsproblematik (wie z.B. Abgase, Schimmelpilze, Feuchtigkeitsschäden, Kadaver) werden nicht genannt; dafür fehlen die entsprechenden Maßnahmenempfehlungen.

Bei der Priorisierung der Maßnahmen fällt auf, dass die Entfernung der Quelle oder die Sanierung der relevanten Baustoffe als letztes genannt wird und Minderungsmaßnahmen, wie Luftreiniger, mobile RLT-Anlagen priorisiert werden. Es fehlt insgesamt ein auf die Ursache abgestimmter Maßnahmenkatalog. Bevor aufwendige Minderungsmaßnahmen oder ein aufwendiges Lüftungskonzept eingeleitet werden, sind die Quellensuche und die Ursachenbeseitigung als vorrangiges Ziel zu nennen. Erst wenn die Ursache der Geruchsbelästigung nicht beseitigt werden kann, sollte der Erfolg über Minderungsmaßnahmen wie vermehrtes Lüften, Kaschieren usw. erwogen werden.

Messunsicherheit der Geruchsleitwerte

Das Geruchsleitwertkonzept bemängelt in der Einleitung die hohen zugelassen Fehlertoleranzen der ermittelten Geruchsparameter bei personengebunden Prüfverfahren wie der ISO 16000-28, VDI 4302 oder dem AGÖF-Geruchsleitfaden und leitet daraus eine nicht praktikable regulatorische Umsetzung ab.

Im Vergleich zu den personengebundenen Verfahren führt das gegenwärtige Geruchsleitwertkonzept bzw. dessen Qualitätsanforderungen zu deutlichen höheren (Mess-) Unsicherheiten obwohl dort eine regulatorische Anwendung der Geruchsleitwerte angestrebt wird.

Die (erhöhte) Messunsicherheit eines personengebundenen Verfahrens wirkt sich lediglich objektspezifisch aus. Weiterhin sind die personengebunden Verfahren mittlerweile in der Praxis erprobt und weitestgehend bewährt. Fehlerbehaftete Geruchsschwellen bzw. daraus abgeleitete Geruchsleitwerte hingegen werden perspektivisch für den gesamten Gebäudebestand in Deutschland regulatorisch angewendet. Vor diesem Hintergrund sind deutlich höhere Anforderungen an die Genauigkeit des Bestimmungs- und Berechnungsverfahrens zu stellen.

Mit einem 4er-Panel als worst-case-Betrachtung einer Geruchsschwellenbestimmung mit „hochwertiger Methodik“ ist aufgrund der interspezifischen Variabilität keine repräsentative Geruchsschwelle zu bestimmen (siehe alters-, geschlechts- und raucherabhängige Streuung der Naphthalingeruchsschwelle).

Die verwendeten Faktoren zur Berechnung der Geruchsleitwerte ist vor dem Hintergrund der unterschiedlichen hedonischen Wirkung geruchsaktiver Substanzen, der diskutierten Zulässigkeit des Ablenkungsfaktors sowie des unterstellten mittleren Weber-Fechner-Koeffizienten mindestens als stark fehlerbehaftet anzusehen.

IX. Online-Ergänzungen

Fogging: Adhäsion als primärer Auslöser der „Schwarzstaub“-Ablagerung

Wigbert Maraun

Einleitung

Als Fogging im Innenraum wird eine Abscheidung von Staub mit einer schmierig-öligen Konsistenz an Raumoberflächen bezeichnet. Hierbei handelt es sich um ein vergleichsweise neues Phänomen, das dem Umweltbundesamt nach eigener Aussage Mitte der 1990er Jahre erstmalig bekannt gemacht wurde (Umweltbundesamt 2006).

Beobachtete Faktoren

Durch die Ablagerungen entsteht je nach Schichtdicke eine graue bis schwarze Belegung. Nach den bisherigen Beobachtungen und Untersuchungen (z.B.: Wensing 1998, Moriske 2001, eigene Untersuchungen) haben sich folgende Faktoren gezeigt, für die eine Beteiligung an der Entstehung des Fogging diskutiert wird.

a.) vorausgegangene Renovierungsarbeiten bzw. Neubau:

In ca. 86% der beobachteten "Fogging"-Fälle handelte es sich um renovierte Wohnungen bzw. um einen Neubau. Die Art der durchgeführten Arbeiten steht dabei hingegen in einem weniger deutlichen Zusammenhang: In 52% der Fälle wurden Malerarbeiten vorgenommen, in 34% Fußbodenarbeiten, in 23% Dichtungsmaßnahmen.

b.) Zeitlicher Verlauf

Das Auftreten des Fogging findet in 41% der Fälle innerhalb von 12 Monaten nach der letzten Renovierung bzw. nach dem Einzug statt. Häufig wird das Fogging aber auch innerhalb eines Tages festgestellt oder nach längerer Abwesenheit der Bewohner (z.B. durch Urlaub).

c.) Heizphase

In 92% der Fälle trat das Staubphänomen in der Heizphase auf. Dies wird dem Einfluss der verringerten rel. Luftfeuchte in den Wintermonaten zugeschrieben.

d.) Wohnungsnutzung

Auffallend häufig wird die Vergrauung der Wohnung nach der Rückkehr von einer längeren Abwesenheit oder seltener Nutzung der Wohnung festgestellt. Auffallend ist auch, dass überdurchschnittlich Wohnungen ohne Kinder betroffen sind. Am häufigsten findet sich der Niederschlag auf Oberflächen im Wohnzimmer.

e.) Bauphysikalische Gegebenheiten:

Kalte Außenwände mit Wärmebrücken stellen eine bevorzugte Kondensationsfläche dar. Dachschrägen dienen als Prallwand für den mit der warmen Heizungs-Luft aufsteigenden Staub.

f.) Raumbedingungen:

Isolierende Oberflächen wie Vinyltapeten, Laminatfußboden oder Kunststoffe können ebenfalls zu elektrostatischen Effekten durch Staubabscheidung führen. Daher sind insbesondere PVC-Fensterrahmen, Türen oder Möbel in besonderem Maße betroffen.

Latexanstriche von Wand- und Deckenflächen können ebenfalls zu einem deutlichen Fogging-Effekt führen.

g.) Ruß- und Staubquellen:

Wohnungsintern können verschiedene Quellen eine verstärkte Freisetzung von Staub- und Rußquellen bedeuten: Zigarettenrauch, Kerzen, Essenszubereitung, Teppichböden mit Faserfreisetzung, intensive Wohnungspflege mit dem Ausbringen von Tensiden (oberflächenaktive Substanzen); Beseitigung einer Staubsenke durch Austausch einer offenen Gastherme gegen ein raumluft-unabhängiges System (Brennwerttherme).

extern: rußbeladene Außenluft (durch verkehrsreiche Straßen, Industrieemissionen, Wohngebiete mit Kleinfeuerungsanlagen)

Physikalische Erklärungsversuche

Thermophorese

Thermophorese bezeichnet den Vorgang eines Stofftransportes als resultierende Kraft der unterschiedlichen thermischen Bewegung von Luftmolekülen. An einer gegenüber der Raumtemperatur kälteren Wandfläche werden Luftpartikel, vergleichbar der Brown´schen Molekularbewegung, von „wärmerer“ Luft, also von Molekülen mit größerer kinetischer Energie („Temperatur“) stärker in Richtung der kalten Wand bewegt als die Partikel von den Molekülen geringerer kinetischer Energie von dort fortbewegt werden. Die Resultante ist die Bewegung der Partikel gegen die kältere Wand. „Wärmebrücken“ erscheinen daher vordergründig als Auslöser des Foggings.

Feinstaub

Da die Ablagerungen mikroskopisch als Ansammlung von Feinstaub-Partikeln erscheinen, wird dem Aufkommen von Feinstaub per se eine fogging-auslösende Wirkung zugeschrieben.

Wärmedämmung

Der eingeschränkte Luftaustausch führt in Verbindung mit vermehrt in die Innenraumluft abgegebenen schwerflüchtigen organischen Verbindungen zum „Fogging“.

Klebefilm-Effekt

Luftgetragene Staubpartikel strömen an weichmacherhaltigen Oberflächen vorbei und bilden dann den schmierigen Belag. Die für die Auslösung des Phänomens vermuteten Faktoren sind wahrscheinlich nicht spezifisch. Die durch Renovierungen oder Errichtung der Wohnung eingebrachten Materialien werden auch sonst verwendet, gegenüber der Raumluft kühlere Außenwände sind i.d.R. vorhanden, damit existieren auch Wärmebrücken. Diese zeigen sich bei einer Fogging-Situation deutlich dadurch, dass dort verstärkt Vergrauung durch erhöhte Staubanlagerung auftritt Auch Kerzenabbrand oder Zigarettenrauch sind üblich bei einer Wohnungsnutzung, führen in anderen Wohnungen jedoch nicht innerhalb kurzer Zeit zu sichtbaren Wandbeaufschlagungen. Das Vorliegen dieser einzelnen Faktoren ist somit nicht zwingend für das Entstehen des Fogging.

Erklärungsmodell

Als wahrscheinliche Erklärung lässt sich nach heutigem Kenntnisstand folgende zusammenfassende Beschreibung abgeben: Durch Renovierung, Neubau oder Neuanschaffungen von Einrichtungsgegenständen werden eine Vielzahl schwerer flüchtige organische Verbindungen (SVOC) in Farben, Lacken, Versiegelungen, Teppichböden u.ä. in den Innenraum eingetragen. Mit Beginn der folgenden Herbst- und Wintermonate wird die Lüftung verringert, die Gebäudewände, insbesondere die Außenwände, werden kälter, die Kondensationsneigung der in der Luft befindlichen schwerer flüchtigen organischen Verbindungen nimmt zu. Die stets in der Raumluft vorkommenden Feinstpartikel erhalten durch Kondensation der SVOC auf deren Oberflächen eine chemisch modifizierte Oberflächeneigenschaft. Diese trägt zu einer Zusammenlagerung (Aggregation) unter Bildung größerer Partikel bei. Bei Kontakt mit den Raumoberflächen kommt es zu einer erhöhten Anlagerung, insbesondere dort, wo sich Temperaturunterschiede an den Wandoberflächen zeigen. Hierbei können aber auch elektrostatische Aufladungen von Kunststoffoberflächen, wie sie gehäuft in den Wintermonaten unter Einfluss der verringerten Luftfeuchte entstehen, zu einer erhöhten Anziehung unterschiedlich geladener Partikel und Flächen führen. Turbulente Strömungen der Luftzirkulation im Raum (z.B. an Bilderrahmen, Wandleuchten, Deckendosen u.ä.) können durch Aufpralleffekte sichtbare Muster einer erhöhten Oberflächenbelegung erzeugen. Elektrostatische Effekte können im Einzelfall zur verstärkten Ablagerung an Wandoberflächen oder auch in elektrischen Geräten wie Fernseher (insbesondere alte Röhrenfernseher) zur Ablagerung beitragen.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Auftreten von Fein- (Partikelgröße < 2,5 µm) und Ultrafeinstaub (Partikelgröße < 0,1 µm) zu. Derartige Partikel können sich auf Grund ihrer geringen Größe nicht mehr ablagern (sedimentieren), sondern verbleiben als Schwebstaub in der Luft. Ein üblicher Auswaschvorgang (Senke) ist jedoch die Anlagerung dieser Feinstpartikel an größere Teilchen (Koagulation). Größere Partikel sedimentieren und entfernen dadurch auch die Feinstpartikel aus der Raumluft. Je weniger Grobpartikel sich in der Luft befinden, umso länger können die kleinen Partikel bestehen bleiben. Unterbleibt in einem Raum die Luftbewegung durch Heizung oder menschliche Aktivität, dann lagern sich die größeren Partikel schnell ab und entfallen somit als Abscheideoberfläche für die Feinststäube. Dies kann erklären, warum das Fogging häufig nach Zeiten einer geringeren oder unterbliebenen Wohnungsnutzung (z.B. durch einen Winterurlaub) auftritt. Auch die auffällige Beobachtung, dass das Fogging ganz überwiegend in Wohnungen festzustellen ist, in denen keine Kinder leben, kann in einem Zusammenhang mit einer verminderten Aufwirbelung von (gröberem) Staub und der damit verbundenen geringeren Auswaschung von Feinstaub stehen.

Als Quelle für Fein- und Feinststäube in der Umgebungsluft kommen vor: Verbrennungsprozesse aller Art, Straßenverkehr (mit Dieselruß, Reifen-, Kupplungs- und Bremsabrieb, Abgas-Katalysator) und speziell im Innenraum: Rauchen, Kerzenabbrand, Küchentätigkeit, Imprägniersprays.

Eine neue und bislang wenig untersuchte Feinststaubquelle stellen Produkte dar, denen sog. Nanopartikel beigegeben werden. Dies können sein: Cremes/Pasten/Kosmetika, Drucker/Kopierer, Sonnenschutz und Farben/Lacke/Kleber (Krug 2003).

Der chemisch entscheidende Vorgang ist somit die Anlagerung von schwerflüchtigen organischen Verbindungen (SVOC) an die Feinstpartikel in der Raumluft (Abb. 1).

Abb. 1: Primäre Kondensation von schwerflüchtigen organischen Verbindungen an einem Kondensationskern

Durch diese primäre Kondensations-Anlagerung von SVOC auf der Partikeloberfläche erhält diese neue chemische Eigenschaften. Es kann nun aus diesen Kondensationskernen durch weitere Anlagerung ein Wachstum des Kerns erfolgen. Mit dem Kernwachstum vergrößert sich auch die Oberfläche des Partikels, was eine weitere Anlagerung von SVOC begünstigt (sekundäre Kondensation) (Abb. 2).

Die An- und Ablagerung wird bestimmt durch schwache Bindungskräfte wie Wasserstoffbrückenbindungen, elektrostatische, schwache hydrophobe Wechselwirkungen oder van der Waals-Kräfte. Van der Waals-Kräfte stellen einen Dipol-basierten Bindungstyp dar (gegenüber z.B. einer kovalenten Atombindung). Schwerflüchtige organische Verbindungen enthalten in der Regel Sauerstoff-Atome (z.B. Fettalkohole, Fettsäuren, Ester der Fettsäuren, Phthalate, Adipate, Glykolester) und stellen daher permanente Dipole dar. Es können aber auch Dipole in unpolaren Molekülen (wie Alkane/Paraffine) induziert werden. Dies erfolgt durch die Bewegung der Elektronen im Molekül, die zu Ladungsverschiebungen und somit zu einer Polarisierung des Moleküls führt. Für die van der Waals-Kräfte wurde bisher nur eine geringe Reichweite angenommen. Eine neue quantenmechanische Arbeit (Ambrosetti et al 2016) zeigt jedoch, dass diese Kräfte bis zu 100 nm weit wirken. Nach quantenmechanisch berechneten wellenähnlichen Ladungsdichteschwankungen kommt es bei unpolaren Substanzen zu wechselwirkenden Vorgängen. Die Ergebnisse legen nahe, dass komplexe Kraft-Gesetze eine wichtige Rolle in einer Vielzahl niedrig-dimensionaler Systeme wie den Phospholipid-Aggregaten oder der Ausbildung von Doppelschichten spielen oder sogar auch bei den Haftkräften von Gecko-Füssen mitwirken.

Zur Ausbildung einer Wechselwirkung bedarf es dennoch einer längeren Verweildauer in räumlicher Nähe zwischen den Bindungspartnern. Dies wird durch abnehmende kinetische Energie der luftgetragenen Moleküle, d.h. durch geringere Temperaturen, oder auch durch verringerte Strömung begünstigt.

In der Partikel-Wachstumsphase kommt es über die Oberflächenadhäsion zur Zusammenlagerung (Koagulation) kleinerer Nano-Partikeln zu größeren Feinststaub-Gebilden. Durch das weitere Wachstum entstehen größere Feinstaub-Partikel als sekundäre Kondensation. Diese größeren Partikel bis zu einer Größenordnung von 1-2 µm werden wiederum durch Belegung ihrer großen Oberfläche mit polaren Substanzen selbst zur adhäsiven Anlagerung an stationären Flächen befähigt (Abb. 2).

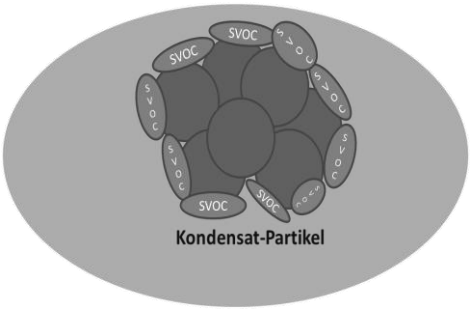


Abb. 2: Sekundäre Kondensation von schwerflüchtigen organischen Verbindungen an der Oberfläche des Kondensat-Partikels

Im makroskopischen Maßstab treten dann überlagernde physikalische Ausprägungsprozesse des Erscheinungsbildes „Fogging“ wie konvektive Strömung, Thermophorese, Kontakt mit Prallflächen, durch Latex-Anstrich geglättete Oberflächen, elektrostatische Aufladung an Kunststoffen, Fehlen von Senken (sedimentierter oder nicht aufgewirbelter Grobstaub) oder Ausbildung unterschiedlicher Schichtdicken hinzu. Diese prägen dann schlussendlich das „Fogging“ (Abb. 3).

Als wesentlicher initialer Prozess ist jedoch die Ausbildung einer Adhäsion durch die Wechselwirkung und Ablagerung schwerflüchtiger organischer Verbindungen über van der Waals-Kräfte zu sehen. Die durch die Adhäsion entstandene Haftkraft der Partikel an Oberflächen ist demnach das entscheidende Maß. Hier besteht ein Forschungsansatz zur

experimentellen Bestimmung der Haftkraft von Partikeln in einer SVOC-Umgebung, vergleichbar der Forschung zur bakteriellen Haftkraft auf Oberflächen (Reimann 2016).

Chemisch stellen daher erhöhte Vorkommen an schwerflüchtigen organischen Verbindungen wie Alkane, Fettalkohole, Fettsäuren, Fettsäureester, Phthalate, Adipate, Trimellitate das wesentliche Risikopotential für die Ausprägung einer „Schwarzstaub-Ablagerung“ in Wohnungen dar.

Analytik

Nach aktuellem Kenntnisstand sollte die Analytik von Fogging-Proben mindestens folgende schwerflüchtigen Substanzen umfassen:

Alkane/Paraffine	**Fettsäureester**	**Andere Weichmacher / Anhydride**
C14–C31	Isopropylmyristat (C14-IPE)	Adipinsäurediisobutylester [DIBA]
Fettalkohole	Methylpalmitat (C16-ME)	Adipinsäurediethylhexylester [DEHA]
Dodecanol	Isopropylpalmitat (C16-IPE)	Tri-2-ethylhexyltrimellitat [TEHT]
Tetradecanol	Butylpalmitat (C16-BE)	Tributylcitrat [TBC]
Hexadecanol	Hexadecylpalmitat (C16-HDE)	Tributyl-Acetyl-Citrat [ATBC]
Octadecanol	Methylstearat (C18-ME)	2,2,4-Trimethyl-1,3-Pentandiol-monoisobut. [TXmIB]
Fettsäuren	Butylstearat (C18-BE)	2,2,4-Trimethyl-1,3-Pentandiol-diisobutyrat [TXIB]
Hexan-Säure	Methyloleat (C18en-ME)	Tripropylenglykolmonobutylether [TPGMB]
Heptan-Säure	Ethyloleat (C18en-EE)	Dipropylenglykoldibenzoat [DPGDB]
Octan-Säure	Methylarachidonat (C20-ME)	Dibutylmaleinat [DBM]
Nonan-Säure	Weichmacher: Phthalate	Di-2-ethylhexylmaleinat [DEHM]
Decan-Säure	Dimethylphthalat [DMP]	Dibutylfumarat [DBF]
Undecan-Säure	Diethylphthalat [DEP]	Di-2-ethylhexylfumarat [DEHF]
Dodecan-Säure	Di-isobutylphthalat [DiBP]	Phthalsäureanhydrid
Tridecan-Säure	Di-n-butylphthalat [DBP]	Hexahydrophthalsäureanhydrid [HHPA]
Tetradecan-Säure (Myristinsäure)	Benzylbutylphthalat [BzBP]	Methylhexahydrophthalsäureanhydrid [MHHPA]
Pentadecan-Säure	Di-2-ethylhexylphthalat [DEHP]	Rauch- u. Verbrennungsprodukte
Hexadecan-Säure (Palmitinsäure)	Di-2-ethylhexyl-terephthalat [DEHtP]	Nikotin
Heptadecan-Säure	Di-i-heptylphthalat [DiHpP]	Fettindikatoren
Octadecan-Säure (Stearinsäure)	Di-2-propylheptylphthalat ([DPHP]	Squalen
Octadecen-9,12-dien-Säure (Linolsäure) /	Di-i-octylphthalat [DiOP]	Cholesterol
Octadecen-9,12,15-trien-Säure (Linolensäure)	Di-i-nonylphthalat [DiNP]	PAK-Leitkomponenten
Octadecen-9-en-Säure (Ölsäure)	Di-i-decylphthalat [DiDP]	Phenanthren
		Benzo[a]pyren (BaP)

Durch das Auffinden von fogging-aktiven Substanzen in erhöhten Konzentrationen (im Flächenbezug) kann dann auch ein erster Schritt für einen Quellenzuordnung und zur Risikominimierung erfolgen.

Fazit

Was ist „Fogging in einer Wohnung“?

Fogging ist im Wesentlichen

- die durch **Transportvorgänge** in der Raumluft gestaltete
    - Abscheidung von Feinstaub und
        - Verbleib der Partikel auf der Oberfläche unter
            - Ausbildung lichtabsorptiver Schichten
                - in Folge der **Adhäsion** von Partikeln durch die
                    - chemisch modifizierte Partikeloberfläche
                        - durch schwer flüchtige organische Verbindungen (**SVOC**)

„Was wir sehen, ist Physik – und was Fogging bedingt, ist Chemie!“

Literaturverzeichnis

Ambrosetti A, Ferri N, DiStasio Jr RA, Tkatchenko A (2016): Wavelike Charge Density Fluctuations and van der Waals Interactions at the Nanoscale, Science 351, 1171

Umweltbundesamt (Hrsg.) Attacke des Schwarzen Staubes, Berlin 2006

Wensing M, Moriske H-J, Salthammer T (1998): Das Phänomen der „Schwarzen Wohnungen“. Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft 58, 463-468

Moriske H-J, Salthammer T, Wensing M, Klar A, Meinlschmidt P, Pardemann A, Riemann A, Schwampe W (2001): Neue Untersuchungsergebnisse zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“. Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft 61 387-394

Krug, H F (2003): Nanopartikel: Gesundheitsrisiko, Therapiechance?, Nachrichten aus der Chemie, 51, 1241-1246

https://de.wikipedia.org/wiki/Van-der-Waals-Kr%C3%A4fte (Abruf 25.08.2016)

Reimann, H-A (2016): Bakterielle Haftkraft; Published on GIT-Labor – Portal für Anwender in Wissenschaft und Industrie (http://www.git-labor.de)

AWMF-S2k-Leitlinie „Medizinisch klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition in Innenräumen“

Julia Hurraß, Gerhard A. Wiesmüller

Im April dieses Jahres wurde die AWMF-Leitlinie „Schimmelpilzexposition in Innenräumen, medizinisch klinische Diagnostik“ (Registernummer 161-001) veröffentlicht.

Unter dem angegebenen Link lässt sich diese S2k-Leitlinie, die federführend von der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP) erstellt wurde, von den Seiten der AWMF herunterladen.

Die medizinische Leitlinie richtet sich an Allergologen, Arbeitsmediziner, Dermatologen, Hygieniker, Krankenhaushygieniker, Mykologen, Pulmologen und Umweltmediziner.

Gründe für die Themenwahl der Leitlinie:

Es fehlte bisher an Empfehlungen zum diagnostischen Vorgehen bei gesundheitlichen Beschwerden, die von Patienten auf Schimmelpilzexpositionen zurückgeführt werden. Demgegenüber sind Feuchteschäden in Innenräumen und damit verbunden Schimmelpilzwachstum weit verbreitet. Nach Auffassung der WHO stellen diese ein relevantes Gesundheitsrisiko dar. Schimmelpilze, deren Sporen und/oder andere Schimmelpilzbestandteile werden über die Luft eingeatmet und können schleimhautreizende (Mucous Membrane Irritation MMI, gelegentlich auch als Mucous Membrane Irritation Syndrome, MMIS bezeichnet) und/oder allergische Beschwerden auslösen. Von Betroffenen werden

oft neben den genannten Beschwerden unspezifische Symptome wie Kopfschmerzen und Müdigkeit in Zusammenhang mit Schimmelpilzexpositionen gebracht. Allergische Beschwerden äußern sich vor allem als heuschnupfenähnliche Symptome und als Asthma bronchiale mit Luftnot und Husten. Bei sehr hohen Schimmelpilzkonzentrationen, die im Regelfall außerhalb von entsprechenden Arbeitsplätzen im Innenraum nicht vorkommen, können zudem schwerwiegende toxische Wirkungen (Organic Dust Toxic Syndrome, ODTS) beobachtet werden. In seltenen Fällen können Schimmelpilze bei bestimmten Risikogruppen (stark abwehrgeschwächte Menschen) Infektionen hervorrufen.

Zielorientierung der Leitlinie:

Erarbeitung einer Empfehlung zur rationalen und rationellen Diagnostik bei nachgewiesener Schimmelpilzexposition. Bisher existierten nur Leitlinien zum Vorgehen bei Feuchteschäden (UBA-Leitfaden) und Übersichtsarbeiten zu assoziierten Krankheitsbildern (Academy of Science/IOM 2004, RKI 2008, WHO 2009), jedoch nicht übergreifend zum diagnostischen auf die Patienten bezogenen Procedere.

Die Erstpublikation der kompletten Leitlinie erfolgte in der Zeitschrift Umweltmedizin – Hygiene – Arbeitsmedizin (UHA, Band 21, Nr. 4 (2016)). Zweitpublikationen werden demnächst in den Zeitschriften AllergoJournal und Pneumologie erscheinen.

Eine Kurzbeschreibung mit den Kerninhalten der Leitlinie wird im Buch „Umweltmedizin“ der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) vom ecomed Medizin-Verlag erscheinen. Eine weitere Kurzfassung der Originalleitlinie wird demnächst im „Handbuch der Arbeitsmedizin“ vom ecomed Storck-Verlag erscheinen.

Irreguläre Prozesse bei der Anreicherung von Quecksilber an Gold nach der VDI-Norm 2267, Bl. 9?

Wigbert Maraun, Steffen Ulrichson

Einleitung

Quecksilber stellt eine für den Menschen giftige Substanz dar. Während elementares flüssiges Quecksilber fast nicht resorbiert wird, werden Quecksilberdämpfe besser aufgenommen, wobei die Resorptionsrate im Bereich von 1% als noch gering einzustufen ist. Extrem giftig sind dagegen Quecksilber-Ionen (Hg2+-Ionen) und organische Verbindungen von Quecksilber. Diese werden zu nahezu 100 Prozent resorbiert und erst nach Monaten und Jahren wieder ausgeschieden. Weithin macht diese Verbindungen gefährlich, dass sie problemlos die Blut-Hirn-Schranke überwinden. Am bekanntesten sind Mono-Methylquecksilber und Di-Methylquecksilber mit einer mittleren letalen Dosis von 30 mg/kg und 1 mg/kg.[1]

Elementares Quecksilber wird u.a. in der Elektrotechnik, im Instrumenten- und Apparatebau (Manometer, Barometer) sowie als Bestandteil von Dental-Amalgam in der Zahnmedizin verwendet. Verbindungen des Quecksilbers (Hg-I und Hg-II) werden bzw. wurden als Katalysatoren und Farbpigmente (Zinnober) sowie im Pflanzenschutz als Fungizide eingesetzt.[2]

Im Innenraum kann Quecksilber in die Raumluft durch zerbrochene Thermometer oder „Energiesparlampen“, durch Messgeräte (alte Manometer) oder durch alte Spiegel eingetragen werden.

Stoffeigenschaften

Metallisches Quecksilber stellt bei Raumtemperatur das einzige flüssige Metall dar und weist einen deutlichen Dampfdruck von 162 mPa auf. Damit wird metallisches, elementares Quecksilber u.U. über einen langen Zeitraum im Innenraum vorkommen können.

Auch die anorganische Verbindung Quecksilber(II)chlorid zeigt bei Raumtemperatur einen deutlichen Dampfdruck von 10 mPa.

Analytik

Die Bestimmung des Quecksilbergehaltes in der Raumluft wird üblicherweise nach der VDI-Norm 2267, Bl. 9, durchgeführt. Dabei wird metallisches Quecksilber als Amalgam an goldbeschichteten Glaskügelchen abgeschieden. Geprüft und kalibriert ist das Verfahren durch Applikation von gasförmigem metallischem Quecksilber auf das Trägermaterial. Schon die Norm beschreibt Befunde, dass bei paralleler Probenahme von realer

[1] Quelle: wikipedia, Abruf 10.01.2017; https://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilbervergiftung

[2] Quelle: Umweltbundesamt, Abruf 10.01.2017;
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/Quecksilber.pdf

Luft Diskrepanzen zwischen den beiden Sammler oder auch Durchbrüche bei zwei in Reihe geschalteten Sammlerröhrchen beobachtet wurden.

Material und Methode

Auswahl der Objekte

Bei dem zur Bestimmung der Raumluftgehalte an Quecksilber ausgewählten Gebäude handelt es sich um ein in den 1910er Jahren errichtetes hochwertiges Wohngebäude. Dieses wurde nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges zeitweise als Lazarett genutzt. Aus dieser Nutzung heraus ergab sich die Erstvermutung, dass es auch zu einer Verteilung von metallischem Quecksilber in dem Gebäude gekommen sein konnte.

Das Gebäude war zwischenzeitlich renoviert und für Verwaltungstätigkeiten umgebaut worden. Dabei wurden Decken abgehängt und neue Bodenbeläge (Linoleum) ausgelegt. In den Fluren war jedoch ein alter, wahrscheinlich originaler, Parkettboden verblieben.

Es wurden in der Mehrzahl der Büroräume und den Flurabschnitten z.T. wiederholt, Raumluftmessungen zur Bestimmung des Gehaltes an Quecksilber durchgeführt.

Analyse

Die zur Ermittlung des Raumluftgehaltes an Quecksilber durchgeführte Probenahme erfolgte in Anlehnung an die VDI 4300 - Blatt 1 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen“ und wurde nicht unter Nutzungsbedingungen durchgeführt. Nach einer intensiven Lüftung über 10-15 min wurde der zu beprobenden Räumlichkeit für einen Zeitraum von mindestens 8 Stunden keine Außenluft zugeführt. Die Fenster und die Innentüren waren bis zum Beginn der Probenahme geschlossen zu halten. Es waren möglichst nutzungsübliche raumklimatische Bedingungen zu schaffen.

Die Sammelgeschwindigkeit betrug 0,4 L/min, das Probenahmevolumen lag zwischen 17 und 42 L. Als Pumpe wurde der BiVOC2 (Umweltanalytik Holbach, Wadern) eingesetzt. Die zweikanalige Probenahmepumpe ermöglicht eine simultane Entnahme zweier Luftproben. Der Volumenstrom kann für jeden Kanal im Bereich zwischen 0,1 und 1,9 l/min individuell eingestellt werden, da jeder Kanal mit einem Massenstromsensor und einer Volumenstromregeleinheit ausgestattet ist.

Die Analyse der belegten Sammelröhrchen erfolgte nach der VDI 2267 - Blatt 9 „Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft - Messen der Massenkonzentration von Quecksilber - Probenahme durch Sorption als Amalgam und Bestimmung mittels Atomfluoreszenzspektrometrie (AFS) mit Kaltdampftechnik“. Normgemäß wurden die Sammler durch Vorbehandlung blindwertfrei gestellt.

Die Bestimmungsgrenze des Verfahrens liegt bei 0,01 ng absolut pro Sammler, woraus sich bei einem Sammelvolumen von 30 L eine Bestimmungsgrenze für den Gehalt an Quecksilber in der Raumluft von 0,7 ng/m³ (bei zwei Sammlern) errechnet.

Ergebnisse

Die Probenahmen erfolgten an mehreren Terminen mit teilweiser Wiederholung im gleichen Raum. In der nachstehenden Tabelle 1 sind die Messwerte aus 46 Raumluftmessungen zusammengestellt.

Aufgeführt sind neben der Raumbezeichnung und dem jeweiligen Sammelvolumen die

Absolut-Gehalte an Quecksilber je Sammler (Erst- und nachgeschalteter Zweitsammler), der addierte Gesamtgehalt und die Raumluftkonzentration an Quecksilber in ng/m³. Das Verhältnis des Quecksilber-Gehaltes auf dem Zweitsammler gegenüber dem Erstsammler ist in einer eigenen Spalte als Prozentwert aufgeführt. Fett markiert sind dabei die Verhältniswerte größer/gleich 100%, die besagen, dass bei dieser Probenahme auf dem Zweitsammler mindestens die gleiche Menge an Quecksilber angetroffen wurde wie auf dem Erstsammler.

Innerhalb der Auflistung mit gleicher Raumbezeichnung ist chronologisch beginnend mit dem älteren Probenahmedatum geordnet.

Von den insgesamt 46 Raumluftmessungen wiesen 13 Raumluftproben Gehalte an Quecksilber auf, bei denen der Zweitsammler mindestens die gleiche Menge an Quecksilber enthielt wie der Erstsammler. Bei einer Raumluftprobe wurde für den Zweitsammler mehr als das Sechsfache der Quecksilbermenge des Erstsammlers gemessen.

In 14 der 46 Raumluftproben wurde ein Durchbruchsgehalt von weniger als 20% der Erstsammlermenge festgestellt. Eine derartige Durchbruchsrate kann als ausreichend angesehen werden. Demnach wären 70% der Probenahmen mit einem höheren Durchbruch als 20% als methodisch kritisch einzustufen.

Die Hintergrundbelastung an Quecksilber in der Außenluft wie auch in einem benachbarten Neubau-Gebäude wurde zu 3 ng/m³ festgestellt.

Demnach liefert das Verfahren eine ausreichend und auch erforderlich niedrige Bestimmungsgrenze für den Gehalt an Quecksilber in der Luft. Da bei Raumluftmessungen immer auch das Niveau der Außenluftgehalt als Vergleichsmaßstab anzusehen ist, sind Verfahren der Quecksilberbestimmung mit Bestimmungsgrenzen von höher als 5 ng/m³ als nur wenig geeignet einzustufen.

Tab 1: Quecksilber-Gehalte in der Raumluft

Raum	Nutzung	Volumen (L)	Sammler 1 (ng)	Sammler 2 (ng)	Verhältnis 2/1	Gesamt-Masse (ng)	Raumluft gehalt
V 002	Büro	17,4	0,17	0,21	**124%**	0,38	22
V 002	Büro	17,4	0,17	0,21	**124%**	0,38	22
V 005	Büro	29	0,16	0,12	75%	0,28	10
V 006	Büro	34,6	0,06	0,06	**100%**	0,12	3
V 007	Büro	30,2	0,04	0,03	75%	0,07	2
V 009	Büro	33,3	0,16	0,04	25%	0,2	6
V 010	Büro	32	0,06	0,06	**100%**	0,12	4
V 011	Büro	23,5	0,1	0,1	**100%**	0,2	9
V 012	Büro	31	0,22	0,22	**100%**	0,44	14
V 013	Büro	24,4	0,18	0,02	11%	0,2	8
V 014	Büro	29	2,3	2,23	97%	4,53	156
V 014	Büro	12,1	0,23	0,05	22%	0,28	23
V 014	Büro	34	0,06	0	0%	0,06	2
V 016	Büro	26,3	0,12	0,02	17%	0,14	5

Raum	Nutzung	Volumen (L)	Sammler 1 (ng)	Sammler 2 (ng)	Verhältnis 2/1	Gesamt-Masse (ng)	Raumluft gehalt
V 017	Büro	24,3	0,17	0,14	82%	0,31	13
V 022	Büro	27,9	0,19	0,05	26%	0,24	9
V 031	KG	30	0,07	0,03	43%	0,1	3
V 103	Büro	34,4	0,6	0,15	25%	0,75	22
V 103	Büro	28	0,59	0	0%	0,59	21
V 104	Büro	30	1,68	0,32	19%	2	67
V 104	Decke	24,6	0,1	0,09	90%	0,19	8
V 104	Nische	30,8	1,07	0,07	7%	1,14	37
V 104	Büro	33	0,37	1,02	**276%**	1,39	42
V 104	Büro	28,4	0,47	0,12	26%	0,59	21
V 105	Büro	37,1	1,86	0,05	3%	1,91	51
V 105	Büro	32	0,7	0,61	87%	1,31	41
V 105	Büro	31,7	0,79	0	0%	0,79	25
V 106	Büro	33,8	0,14	0,08	57%	0,22	7
V 107	Büro	30	0,19	0,17	89%	0,36	12
V 108	Büro	22	0,3	0,1	33%	0,4	19
V 108	Decke	23,8	0,05	0,32	**640%**	0,37	16
V 108	Büro	31,7	0,05	0,15	**300%**	0,2	6
V 108	Büro	30	0,49	0,06	12%	0,55	18
V 109	Büro	30	0,19	0,07	37%	0,26	9
V 110	Büro	30	0,81	0,02	2%	0,83	28
V 110	Büro	33	0,2	0,14	70%	0,34	10
V 111	Büro	25,4	0,09	0,24	**267%**	0,33	13
V 112	Büro	31,1	0,06	0,21	**350%**	0,27	9
V 113	Büro	29,7	0,5	0,02	4%	0,52	18
V 114	Büro	33,6	0,65	0,02	3%	0,67	20
F 106	Flur	25,8	0,21	0,31	**148%**	0,52	20
F 110	Flur	27,2	0,42	0,03	7%	0,45	17
F 291	Flur	42,8	0,17	0,17	**100%**	0,34	8
F 372	Flur	20,9	0,46	0,05	11%	0,51	24
F 374	Flur	29,8	0,18	0,47	**261%**	0,65	22
H 2.07	Altbau	28,5	0,08	0,07	88%	0,15	5
Außenluft	Terrasse	28,8	0,06	0,02	33%	0,08	3
0.15	Neubau	35,9	0,07	0,05	71%	0,12	3

Deskriptive Statistik

Die erhobenen Messergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle deskriptiv dargestellt nach Perzentilwerten, Spannweiten und Lagemaßen.

Tab. 2: Deskriptive Statistik über alle Messwerte

	Quecksilbergehalt / Raumluft [ng/m³]
Probenanzahl (n)	46
25. Perzentil	8
50. Perzentil (=Median)	13
90. Perzentil	37
Mittelwert	20
Minimalwert	2
Maximalwert	156

Die statistische Auswertung (Tab. 2) zeigt einen 50. Perzentil-Wert von 13 µg/m³ und ein 90. Perzentilwert von 37 ng/m³. Die Messwerte-Spanne liegt zwischen 2 und 156 ng/m³.

Diskussion

Innenraum-Richtwert

Für die Raumluftkonzentrationen an Quecksilber existiert ein Innenraum-Richtwert der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte beim Umweltbundesamt von 35 ng/m³ als Richtwert I (RW I, Vorsorgewert) und ein Richtwert RW II als Gefahrenwert von 350 ng/m³. Diese Richtwerte beziehen sich ihrer Ableitung nach auf die Exposition durch metallisches Quecksilber.

Raumluftbelastungen durch Quecksilber

Für das Kollektiv der Raumluftproben aus dem untersuchten Gebäude findet sich in ca. 10% der Proben eine Überschreitung des Innenraum-Richtwertes von 35 ng/m³.

Wesentlich für die vorliegenden Messwerte sind jedoch die hohen und augenscheinlich unsystematischen Schwankungen bei den Verhältnisse zwischen Erst- und Zweitsammler. Es bildet sich keine feste Durchbruchssituation ab. Es muss aus den vorliegenden Daten sogar abgeleitet werden, dass für die beprobte Raumluft eine sichere Aussage zum Gesamtgehalt nicht möglich ist. Aus dem Anstieg des Quecksilbergehaltes vom ersten zum zweiten Sammler ist nicht abzuschätzen, wie hoch der Durchbruch von Quecksilber durch den zweiten Sammler einzuschätzen ist.

Im Raum V 014 wird bei der Erstmessung ein Gesamtgehalt von 156 ng/m³ ermittelt bei einem hohen Durchbruch durch den Erstsammler von 97% mit nahezu Gleichverteilung des Quecksilbers zwischen beiden Sammlern. Bei der Nachmessung findet sich ein Gesamtgehalt von nur noch 23 ng/m³ mit einem Durchbruchsanteil von 22%. Nach Sanierung des Raumes wird ein Gesamtgehalt von 2 ng/m³ (Außenluft-Hintergrundswert von 3 ng/m³) erhalten, wobei ein Durchbruch nicht mehr festzustellen war.

Die Daten legen die Vermutung nahe, dass das zur Anreicherung von Quecksilber eingesetzte Gold lediglich metallisches Quecksilber erfasst, während kovalent gebundene Quecksilber-Spezies wie Quecksilberchlorid oder Organo-Quecksilberverbindungen

allein durch Amalgamisierung nicht erfasst werden. Hier können lediglich zufällig-mechanische Effekte wie Anlagerung von quecksilberhaltigen Partikeln oder adhäsive Prozesse an der Trägermaterialoberfläche für eine (unvollständige) Abscheidung von anderen Quecksilber-Spezies aus dem Luftstrom sorgen.

Bei schwankenden Anteilen von metallischem und nicht-metallischem Quecksilber in der Raumluft kommen darüber hinaus weitere Unsicherheitseffekte in der analytischen Bestimmbarkeit des Quecksilbergehaltes hinzu.

Aus dem irregulären analytischem Nachweis von Quecksilber wurde daher die Anfangs-Hypothese eines nutzungsbedingten Ausbringen von metallischem Quecksilber wie durch zerbrochene Thermometer erweitert zur Annahme, dass auch Sublimat-Quecksilber (Quecksilber(II)-Chlorid) als Desinfektionsmittel eingesetzt und als Altlast des Gebäude noch nachweisbar ist.

Diese irregulären Vorgänge bei der Probenahme lassen eine gesicherte Aussage zum Gesamtgehalt an Quecksilber in einer Raumluftprobe nicht zu. Es muss daher generell bei der Anreicherung von Quecksilber an Goldoberflächen von Minderbefunden ausgegangen werden. Dies betrifft insbesondere auch diskontinuierlich messende Analysatoren, bei denen Quecksilber aus der Raumluft an Goldfolie abgeschieden wird. Die dabei zugrunde liegende Amalgamisierung bedingt die gleiche Unsicherheit in der Aussage zum Gesamtgehalt an Quecksilber in der Raumluft wie die Probenahme nach der VDI-Norm 2267, Blatt 9.

Fazit

Die Bestimmung von Quecksilber nach der VDI-Norm 2267, Blatt 9, führt auf Grund irregulärer Prozesse zu teilweise hohen Durchbrüchen durch den goldbeschichteten Sammler. Das VDI-Verfahren und alle auf der Amalgamisierung von Quecksilber mit Gold beruhenden Anreicherungsmethoden lassen außer Acht, dass lediglich Quecksilber in seiner metallischen, elementaren Form mit Gold unter Amalgambildung reagiert. Für anorganische und organische Quecksilber-Spezies ist dieser Vorgang nicht bekannt. Hier können nur zufällig-mechanische Prozesse zur Abscheidung von Quecksilber-Verbindungen aus dem Luftstrom auf dem Sammler beitragen. Diese Prozesse scheinen jedoch keine gesicherte und vollständige Erfassung des Gesamt-Quecksilbers in der Raumluftprobe zu gewährleisten.

Es besteht daher die Erfordernis zu einer Methode, die den Gesamtgehalt erfasst und auch differenzierend die Speziation des Quecksilbers ermöglichen kann.

Literaturverzeichnis

2012, I. (kein Datum).

2012, I. (kein Datum).

BDF. (2013). *Bundesverband Deutscher Fertigbau.* Von http://www.fertigbau.de/bdf/unsere-branche/daten-fakten/2010.html abgerufen

BDF. (8. April 2016). *Bundesverband Deutscher Fertigbau.* Von http://www.fertigbau.de/bdf/unsere-branche/daten-fakten/2010.html abgerufen

Bernstein, A., Alexis, A., Bacchus, H., Benrstein, L., Fritz, P., Horner, E., . . . Tarlo, S. (März 2008). The health effects of non industrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, S. 585 - 591.

BfR. (7. November 2006). Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, S. 1169 doi:10.1007/s00103-006-0081-x.

Brown, S. K., Sim, M. R., Abramson, M. J., & Gray, C. N. (21. November 1994). Concentrations of Volatile Organic Compounds in Indoor Air - A review. *Indoor Air*, S. 123-134.

DFG. (2015). *MAK- und BAT-Werte-Liste .* Weinheim: WILEY-VCH.

DIN ISO 4300. (kein Datum).

Gibson, L., & Watt, C. (01. September 2009). Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in Museum environments. *Corrosion Science*, S. 172-178.

Grütze, D. (2007). *Bau-Lexikon.* München: Carls Hanser Verlag.

Hein, H., & Kunze, W. (1994). *Umweltanalytik.* Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.

Hennecke, U., Roffael, E., Schneider, T., & Dix, B. (3. November 2005). Zur Abgabe von flüchtigen Säuren aus mitteldichen Faserplatten (MDF). *Holz als Roh- und Werkstoff*, S. 189-191.

IRK. (2011). Ergebnisprotokoll. *Richtwerte für die Innenraumluft C2 - C8 n-Alkansäuren* (S. 2). IRK.

Körner, W., & Walker, G. (März 2016). Vorankündigung: Richtlinie VDI 4301 Blatt 7 - Messen von Carbonsäuren. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, S. 91.

Ohlmeyer, M., Makowski, M., Schöler, M., Hasch, J., & Fried, H. (2008). *Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses - weiterführende Untersuchungen.* Hamburg: Universität Hamburg - Zentrum Holzwirtschaft.

Ohlmeyer, M., Makowski, M., Schöler, M., Hasch, J., & Ulrich, C. (2006). *Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses - Grundlagenuntersuchung -.* Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.

Ohlmeyer, M., Vagt, J., Schöler, M., & Hasch, J. (2012). *Untersuchung über den Einfluss des Produktionsprozesses auf die Entstehung von VOC-Emissionen aus Mitteldichten Faserplatten (MDF).* ???: ???

Prieto, J., & Kiene, J. (2007). *Holzbeschichtung: Chemie und Praxis.* Hannover: Vincentz Network.

Reichl, F.-X. (2000). *Taschenatlas der Umweltmedizin.* Stuttgart: Thieme.

Roffael, E. (1989). Abgabe von flüchtigen organischen Säuren aus Holzspänen und Holzspanplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, S. 447 - 452.

Roffael, E., Behn, C., & Dix, B. (9. Juni 2010). Über die Abgabe von Ameisen- und Essigsäure aus Deck- und Mittelschichten von aus CTMP hergestellten mitteldichten Faserplatten (MDF). *European Journal of Wood Products*, S. 367–368.

RÖMPP. (2006). *Essigsäure*. Abgerufen am 16. Februar 2016

RÖMPP. (2016). *Ameisensäure*. Abgerufen am 16. Februar 2016 von https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-01-01901

Sachs, L. (1999). *Angewandte Statistik.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Scholz, H. (2012). Flüchtige organische Verbindungen. In G. Zwiener, & F.-M. Lange, *Handbuch Gäude-Schadstoffe und Gesunde Innenraumluft* (S. 223 - 269). Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG.

Stache, A. (2012). Schadstoffe in Fertighäusern. In G. Zwiener, & F.-M. Lange, *Handbuch Gebäude-Schadstoffe und Gesunde Innenraumluft* (S. 805-818). Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH 6 Co. KG.

TRGS 905. (2014, März). *Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefärdender Stoffe.*

Wagenführ, A., & Scholz, F. (2012). *Taschenbuch der Holztechnik.* München: Carl Hanser Verlag.

WHO. (2015). *IARC Monographs vealuate DDT, lindane, and 2,4-D.* WHO.

Wiegner, K., Hahn, O., Horn, W., Farke, M., Kalus, S., Nohr, M., & Jann, O. (März 2012). Determination of formic an acetic acid emissions in indoor air from building products. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, S. 84-88.

Zwiener, G., & Mötzl, H. (2006). *Ökologisches Baustofflexikon.* Heidelberg: C.F. Müller Verlag, Hüthig GmbH & Co.KG.