

AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer
Forschungsinstitute (Hrsg.)

Umwelt, Gebäude & Gesundheit

**Schadstoffe,
Gerüche,
Sanierung**

Ergebnisse des 9. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer
Forschungsinstitute (AGÖF) am 23. und 24. September 2010 in Nürnberg

2010

AGÖF – Springe-Eldagsen

In diesem Buch werden die Beiträge des 9. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 23. und 24. September 2010 in Nürnberg veröffentlicht.

Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF)

Geschäftsstelle:

im Energie- und Umweltzentrum am Deister
D - 31832 Springe-Eldagsen

Vorstand der AGÖF

Peter Braun, Elke Bruns, Michael Köhler

Wissenschaftlicher Beirat:

Peter Braun ALAB GmbH, Berlin
Elke Bruns, Umwelt- und Gesundheitsinstitut, Wittingen
Martin Hoffmann, gfo mbH, Berlin
Michael Köhler, Bremer Umweltinstitut, Bremen
Jörg Thumulla, AnBUS e.V., Fürth

In Kooperation mit dem Umweltreferat der Stadt Nürnberg,

Dr. Peter Pluschke

Redaktion: Sabine Weber-Thumulla

Veranstalter:

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

Umwelt, Gebäude & Gesundheit : Innenraumhygiene, Raumluftqualität und Energieeinsparung ;
Tagungsband des 9 AGÖF-Fachkongresses 2010 / AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer
Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. Bearb. Sabine Weber-Thumulla. - Springe : AGÖF, 2010

Buch: ISBN 978-3-930576-08-1

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung auch von Teilen außerhalb des Urheberrechtsgesetzes 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.

© 2010 Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V.,
Springe-Eldagsen

Umschlagsgestaltung: Harald Hans Vogel, Fürth

Titelfoto: Stadt Nürnberg, Neubau der Georg-Ledebour-Schule von 2004, kleines Foto: Altbau der Georg-Ledebour-Schule vor dem Abriß;

Weitere Informationen unter http://www.umweltdaten.nuernberg.de/info/v013_02_1.html

ISBN 978-3-930576-08-1

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der AGÖF	9
Vorwort des Umweltreferenten der Stadt Nürnberg	12
I. Ergebnisse der AGÖF-Forschungsprojekte	13
AGÖF-Forschungsprojekte zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft – Hintergrundbelastungen für VOC	14
Heidrun Hofmann, Michael Köhler, Peter Plieninger	
Leitfaden der AGÖF und des österreichischen Umweltministeriums: "Gerüche in Innenräumen – sensorische Bestimmung und Bewertung" ..	22
Peter Tappler	
Ergebnisse des 4. Laborvergleichs „Flüchtige organische Verbindungen“ 2009 der AGÖF	25
Michael Köhler, Heidrun Hofmann, Ulrike Siemers, Norbert Weis	
II. Schadstoffe in Innenräumen	31
Emissionsarme Materialien und Raumluftqualität – Bedeutung für die DGNB-Gebäudezertifizierung	32
Michael Rieß	
Einflüsse von Bauprodukten auf die Diffusion von Formaldehyd in die Innenraumluft.....	33
Jan Gunschera, Tunga Salthammer	
Kunst kennt keinen Urlaub und kann sich nicht erholen oder, von den Unwegsamkeiten Prävention durchzusetzen	38
Arnulf von Ulmann	
Innovative Anwendungen der Tracergastechnik in Fahrzeugen, Labor- und Wohnräumen.....	50
Felix Twrdik	
Veränderungen des Belastungsspektrums im Innenraum	63
Dieter Marchl, Barbara Kafadaroglu	
VOC in der Raumluft von Containergebäuden	70
Norbert Nix	
Schadstoffbelastungen in Schul- und Bürocontainern.....	80
Dieter Marchl, Ruth Cremer	
Formaldehyd in Saunen	85
Peter Tappler, Bernhard Damberger, Felix Twrdik, Claudia Schmöger	

III. Aktuelle Schadstoffprobleme aus toxikologischer und juristischer Sicht.....	92
Reizwirkungen und pulmonale Effekte nach kurzzeitiger Exposition gegenüber VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen.....	93
Julia Hurraß, Richard Gminski, Volker Mersch-Sundermann	
Vorkommen und Bewertung hormonartig wirkender Stoffe in verbrauchernahen Produkten	105
Heribert Wefers	
Einbindung der verschiedenen Akteure bei der Sanierung schadstoffbelasteter Bausubstanz	121
Dr. Thomas Hoffmann, Peter Braun	
Auftreten von Schadstoffen in Innenräumen: Darstellung rechtlicher Grundlagen und der hierzu ergangenen Rechtsprechung.....	121
Jochen Kern_Toc272074306	
IV. Bewertung von Innenraumschadstoffen	138
Richtwerte für die Innenraumluft: Aktuelle Entwicklungen 2010	139
Helmut Sagunski	
V. Gerüche in Innenräumen und ihre gutachterliche Bewertung - Fallbeispiele aus der Praxis	146
Erste Praxiserfahrungen zur Anwendung des AGÖF-Leitfadens zur Sensorischen Bestimmung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen im Neubau eines Bürogebäudes mit multifaktoriellen Geruchsproblemen ..	147
Jörg Thumulla	
Geruchsbegehungen im Rahmen der Sanierung historischer Gebäude in der Speicherstadt in Hamburg	164
Manfred Santen	
Fehlerbetrachtung von Geruchsprüfungen anhand exemplarischer Auswertungen durchgeführter Untersuchungsprojekte	175
Schmidt Matthias, Jörg Thumulla	
VI. Gebäudealtlasten und Schadstoffsanierung.....	186
Umgang mit Gebäudealtlasten bei der Umnutzung von Gebäuden	187
Peter Braun	
Sanierungstechniken	192
Erfahrungen mit PAK-Belastungen durch Homogenasphaltplatten	194
Jörg Mertens, Michael Köhler, Jutta Mehnert, Norbert Weis	

Energetische Sanierung unter Berücksichtigung von Schadstoffen wie PCB – Vorhaben im Rahmen des Konjunkturpakets	204
Matthias Friedel	
Kontrolle und Bewertung des Sanierungserfolgs.....	207
Risikokommunikation und Kommunikationsstrukturen bei Schadstoffbelastungen in Gebäuden der Stadt Nürnberg	208
Bernd Tilgner	
Sekundärkontaminationen mit SVOC (PAK, PCN, PCB) in Büchern belasteter Bibliotheken	211
Norbert Weis, Michael Köhler, Jörg Mertens	
 VII. (Bio-) Chemische Innenraumbelastungen und deren Sanierung.....	 224
Beurteilung von mikrobiell befallenen Materialien aus der Trittschalldämmung	225
Nicole Richardson	
Zielkonflikt Raumlufthygiene versus energiesparendes Bauen.....	234
Martin Wesselmann	
Praxisbeispiel zur Schimmelpilzprävention durch Erhöhung des Grundluftwechsels	238
Uwe Münzenberg	
Schadstoffsanierung durch technische Lüftung – Schadstoffprobleme bei energetischer Sanierung ohne technische Lüftung	243
Jörg Thumulla	
Carbonsäuren als Indikator für Feuchteschäden – ein Fallbeispiel –.....	251
Ulrike Hoffmann, Jörg Thumulla	
 VIII. Der Einsatz von Desinfektionsmitteln bei der Schimmelpilzsanierung und ihre Nebenwirkungen	 262
Einsatz von Desinfektionsmitteln bei der Schimmelpilzsanierung aus Sicht der Innenraumhygiene	263
Wolfgang Lorenz	
Folgen der Anwendung chlorhaltiger Desinfektionsmittel am Beispiel der Badewasserdesinfektion	275
Lothar Erdinger	
Quartäre Ammoniumverbindungen (QAV), Möglichkeiten der Analytik und Fallbeispiele	277
Carmen Kroczeck, Jörg Thumulla	

IX. Mikrobiologische Nachweisverfahren.....	284
Untersuchungen zum Vorkommen von Actinobakterien in feuchtegeschädigten und schimmelpilzbesiedelten Baumaterialien	285
J. Schäfer, Ch. Trautmann, I. Dill, G. Fischer, T. Gabrio, I. Groth, U. Jäckel, W. Lorenz, K. Martin, T. Miljanic, R. Szewzyk, U. Weidner, P. Kämpfer	
Testverfahren zum direkten Nachweis von Schimmelpilzallergenen im Innenraum	297
Klaus Klus und Ute Stephan	
Kultivierungsunabhängige Nachweismethoden für Schimmelpilze und Bakterien	301
Christoph Trautmann	
Verzeichnis der Autoren	310
Anhang.....	314
AGÖF-LEITFADEN „Gerüche in Innenräumen – Sensorische Bestimmung und Bewertung“	

AGÖF-Forschungsprojekte zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumlufthintergrundbelastungen für VOC

Heidrun Hofmann, Michael Köhler, Peter Plieninger

Zusammenfassung

Für die Beurteilung von VOC-Konzentrationen bei anlassbezogenen Untersuchungen in Einzelfällen oder im Rahmen von Forschungsprojekten werden häufig statistisch abgeleitete Werte als Vergleichsmaßstab herangezogen.

Die AGÖF hat 2007 auf der Basis der Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Erstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumlufthintergrundbelastungen“ die AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumlufthintergrundbelastungen aktualisiert (AGÖF 2004, AGÖF 2007). Die hierbei zugrunde gelegten statistischen Kennzahlen beruhen auf einer Auswertung der VOC-Konzentrationen aus 2585 Innenraumraumuntersuchungen aus den Jahren 2002 bis 2006 (Hofmann et al. 2007, Hofmann, Plieninger 2008). Die AGÖF-Orientierungswerte werden u.a. in der gutachterlichen Praxis für die Bewertung von VOC-Raumlufthintergrundbelastungen herangezogen.

Seit Oktober 2009 bearbeitet die AGÖF nun ein weiteres Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes mit dem Titel „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumlufthintergrundbelastungen – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“, in dem neben der Fortsetzung und Erweiterung der VOC-Datenbank auch gezielt Messungen in energieeffizienten Gebäuden erfolgen werden.

Einleitung

Flüchtige organische Verbindungen (VOC) können ein hygienisches Problem in Innenräumen darstellen und sind häufig Gegenstand gutachterlicher Fragestellungen.

Die Zunahme der in Innenraumprodukten eingesetzten Substanzen hat dabei zu einer großen Variabilität potentieller Immissionen geführt. Die möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit umfassen ein weites Spektrum, das von sensorischen Effekten bei niedrigen Konzentrationen bis hin zu toxischen Wirkungen bei hohen Konzentrationen reicht. Bislang gibt es nur für einige wenige VOC Innenraumrichtwerte, die toxikologisch abgeleitet wurden. Aufgrund der Vielzahl der in der Innenraumluft anzutreffenden flüchtigen organischen Verbindungen ist eine Beurteilung des komplexen Stoffgemischs auf der Basis toxikologisch abgeleiteter Richtwerte nicht möglich.

Für die Beurteilung von Raumlufthintergrundbelastungen bieten aktuelle statistische Kennzahlen für Stoffgemische und Einzelstoffe eine wichtige Grundlage (Seifert 1999, Ad-Hoc-AG 2007). Hierbei werden die Messergebnisse mit statistischen Kennwerten ausgewählter Studien, die dazu dienen, eine „normale“ VOC-Belastung in Innenräumen zu erfassen, verglichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich statistisch abgeleitete Werte jeweils auf die zugrunde liegende Datenbasis und Durchführung der Untersuchungen beziehen (zur Diskussion siehe auch Oppl et al. 2000, Hippelein 2003).

In der Vergangenheit wurden verschiedene Studien mit Vergleichswerten zu VOC-Belastungen in Innenräumen veröffentlicht (u.a. Scholz 1998, Schleibinger et al. 2001, Schleibinger et al. 2002, Hott et al. 2004). Hierzu gehören auch die Studie der AGÖF

Leitfaden der AGÖF und des österreichischen Umweltministeriums: "Gerüche in Innenräumen – sensorische Bestimmung und Bewertung"

Peter Tappler

Einleitung

Die empfundene Luftqualität in Innenräumen gewinnt international an Bedeutung. Da zahlreiche Gebäude aus energetischen Gründen immer luftdichter gebaut werden, ohne dass für einen hygienisch ausreichenden Luftwechsel gesorgt wird und die Aufenthaltsdauer in geschlossenen Räumen zunimmt, sind Gerüche in Innenräumen zunehmend Ursache für Beschwerden der Nutzer. Die Quellen für Gerüche können sowohl innerhalb als auch außerhalb des Gebäudes liegen. Neben Baustoffen und Materialien der Innenausstattung bzw. deren Abbauprodukten können u. a. technische Anlagen, Bauschäden, Tiere und die Nutzer selbst Ursache für Geruchsbelastungen sein.

Bisher wurden für die Identifikation von Gerüchen in Innenräumen vorrangig chemisch-physikalische Analyseverfahren eingesetzt. Der alleinige Einsatz dieser Verfahren führt jedoch oft nicht zu den gewünschten Ergebnissen, sensorische Bewertungen erlangten daher im Laufe der Zeit einen immer größeren Stellenwert (ECA 1999). Die menschliche Nase nimmt zahlreiche geruchsintensive Substanzen bereits in Konzentrationen wahr, die in der Laboranalytik unterhalb der Nachweisgrenzen liegen oder aufgrund Ihrer Eigenschaften im Rahmen der routinemäßigen Laboranalytik überhaupt nicht erkannt werden können. Mit dem Einsatz der menschlichen Nase als „Messgerät“ können zusätzliche Parameter wie Intensität, Qualität und Hedonik in die Bewertung einfließen.

Die individuell und situationsbedingt sehr unterschiedliche Wahrnehmung von Gerüchen kann die Aussagefähigkeit sensorischer Geruchsprüfungen stark reduzieren. Bisher gab es im deutschsprachigen Raum keine abgestimmte Vorgehensweise bzw. handhabbare Technik für Geruchsprüfungen in Innenräumen. Um eine Vergleichbarkeit der Bewertung von Gerüchen in der Innenraumluft zu erreichen, hat die Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) in Kooperation mit dem Arbeitskreis Innenraumluft des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW, Österreich) eine standardisierte Form der Untersuchung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen erarbeitet. Der Leitfaden soll auch in etwas abgewandelter Form in die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft des BMLFUW einfließen (BMLFUW 2009).

Zielsetzungen sensorischer Geruchsprüfungen

Eine sensorische Geruchsprüfung der Innenraumluft kann unterschiedlichen Zielen dienen. Neben der Suche nach den Ursachen für als unangenehm oder störend gewerteten Gerüche sind die Frage der Zumutbarkeit von Gerüchen und der Nutzbarkeit betroffener Räume Ziele einer Beurteilung von Gerüchen in Innenräumen.

Als wichtigste Ziele einer sensorischen Geruchsprüfung in der Innenraumluft können ohne Anspruch auf Vollständigkeit folgende Punkte genannt werden:

Ergebnisse des 4. Laborvergleichs „Flüchtige organische Verbindungen“ 2009 der AGÖF

*Michael Köhler, Heidrun Hofmann, Ulrike Siemers,
Norbert Weis*

Einleitung

Die quantitative Erfassung von VOC-Belastungen in der Raumluft stellt eine analytische Herausforderung dar, da im allgemeinen angestrebt wird, eine weitgehend repräsentative Aussage über den Status der Luftschadstoffe mittels einer Messung zu erzielen. In der DIN EN ISO 16000-5:2007-05, die die Probenahme-strategie zur Erfassung flüchtiger organischer Verbindungen in der Innenraumluft beschreibt, werden im informativen Anhang 68 Substanzen als Beispiele für im Innenraum vorkommende Substanzen genannt. Üblicherweise werden mittlerweile in VOC-Untersuchungen jedoch oft bis zu 200 Substanzen und mehr erfasst. Im 1. Forschungsvorhaben der AGÖF wurden 300 Einzelstoffe und Stoffgemische im Innenraum erfasst und statistische Kennwerte aus den erhaltenen Messergebnissen gebildet (Hofmann und Plieninger, 2008). Die üblicherweise nachgewiesenen Substanzen stammen dabei aus unterschiedlichsten chemischen Verbindungsklassen wie etwa den Aromaten, Alkanen, Estern, Ethern, ein- und mehrwertigen Alkoholen, Terpenen, halogenierten Kohlenwasserstoffen, Aldehyden, Ketonen und sonstigen Verbindungen. Moderne niedrige Richtwerte machen hierbei zumindest teilweise die Erfassung der Substanzkonzentrationen im Bereich weniger $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erforderlich. Die bei üblichen Innenraumuntersuchungen erhaltenen Analysenwerte dienen der Bewertung von Beschwerden über Gesundheitsbeeinträchtigungen oder Geruchsbelastungen. Auch können mit den VOC-Ergebnissen Freigaben zur Nutzung von Gebäuden nach deren Errichtung oder auch zu weiteren Anlässen abgesichert werden.

Als Konsequenzen bei hohen Belastungen können sich Nutzungsaussetzungen von Räumen oder aber sogar bauliche Maßnahmen zur Reduktion der Belastungen ergeben. Die Anforderung an die Richtigkeit der Analyseergebnisse sind daher hoch. Zur Absicherung der Richtigkeit der VOC-Untersuchungen hat die Arbeitsgemeinschaft analytischer Forschungsinstitute (AGÖF) in den vergangenen Jahren bereits drei Laborvergleiche durchgeführt (in den Jahren 2004, 2006 und 2007, vergleiche Köhler, 2005 und Köhler et.al. 2007). Hier werden nun die Ergebnisse des vierten, 2009 durchgeführten Laborvergleichs vorgestellt.

Durchführung der Laborvergleichs

Wie bereits bei den vorangegangenen Laborvergleichen wurde auch 2009 für die Durchführung eine praxisnahe Situation gewählt. In einem größeren Tagungsraum (in einem Passivhaus) wurde durch Zudosierung von Substanzen zu dem bereits vorhandenen Innenraumspektrum eine zu beprobende Innenraumluft vorbereitet. Folgende Substanzen wurden hierbei zudosiert: Heptan, 1-Hepten, Ethylbenzol, Naphthalin, Phenol, 1-Butanol, N-Methylpyrrolidon, Decamethylcyclopentasiloxan (D5), 1,2-Propylenglykolmonomethylether (EGMB), 2,2,4-Trimethylpentan-1,3-dioldiisobutyrat (TXIB), Propylenglykolmonomethyletheracetat (PGMMA), Acetophenon, 2-Butenal (cis/trans-Gemisch) und 1,1,1-Trichlorethan. Die Innenraumluft des Testraums wurde durch die Teilnehmer des Laborabgleichs mittels der Ihnen geeignet erscheinenden Probenahme-systeme beprobt. Obwohl Thermodesorptionsverfahren entsprechend DIN ISO 16000-6:

Emissionsarme Materialien und Raumlufthtqualität – Bedeutung für die DGNB-Gebäudezertifizierung

Michael Rieß

Der DGNB-Systemansatz (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.) für die Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden wendet messbare Kriterien an um die ökologische, ökonomische, soziokulturell- funktionale, technische und prozesstechnische Gebäudequalität im Lebenszyklus zu bewerten.

Das Zertifizierungssystem wird mit entsprechend Anpassungen zur Optimierung und Bewertung unterschiedlicher Gebäudetypen angewandt. Neben Büro- und Verwaltungsgebäuden sind so genannte Systemvarianten für Hotel-, Wohn-, Handel- und Industriebauten verfügbar. Neben dem Neubau können bereits heute modernisierte und komplett sanierte Bürogebäude betrachtet werden. An weiteren Systemvarianten u. a. für mischgenutzte Objekte wird gearbeitet.

Eine Reihe von Kriterien (auch Steckbriefe genannt) legen Anforderungen an die Materialökologie und die Raumlufthygiene fest. So werden im Zuge der verpflichtend zu erstellenden Gebäudeökobilanz klima- und ressourcenschonende Baustoffe deutlich positiv bewertet. Unter Bezug auf anerkannte Standards und Normen werden schadstoff-, gefahrstoff- und emissionsarme Materialien sowie zertifiziertes Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft gefordert.

Die Wahl dauerhafter, wartungsarmer und reinigungsfreundlicher Materialien und Konstruktionen wird durch verschiedene Kriterien gefordert. Die für die Zertifizierung notwendige detaillierte Ausschreibung und Nachweisdokumentation der eingesetzten Materialien leistet einen wichtigen Beitrag zur Werthaltigkeit DGNB-zertifizierter Gebäude.

Spätestens bis vier Wochen nach Fertigstellung müssen Raumlufthmessungen durchgeführt werden, die die Einhaltung von Mindestqualitäten für die Parameter TVOC und Formaldehyd nachweisen. Werden diese Werte nicht eingehalten, so ist eine Zertifizierung ausgeschlossen.

Die raumlufthygienischen Zielwerte (höchste Qualität) orientieren sich an den Vorgaben der Innenraumlufthkommission des Umweltbundesamtes. Sofern die im Rahmen eines AGÖF-Projektes erarbeiteten DGNG-Orientierungswerte für Einzelstoffe überschritten werden, müssen Maßnahmen zur Minimierung der Belastungen ergriffen werden.

Einflüsse von Bauprodukten auf die Diffusion von Formaldehyd in die Innenraumluft

Jan Gunschera, Tunga Salthammer

Für die Verbesserung der Qualität der Innenraumluft ist die Auswahl der in der Konstruktion verwendeten Materialien von besonderer Bedeutung. Die Abschätzung des Emissionsverhaltens von Baumaterialien stellt in diesem Zusammenhang eine wichtige Komponente zur Erreichung gesunder Innenluftverhältnisse dar. In einer Studie wurde dazu der Einfluss von mineralischen Dämmstoffen auf die Qualität der Innenraumluft in einer speziell angefertigten Testkabine untersucht. Diese Testkabine (3.1 x 1.6 x 1.95 m), welche einen normalen Wohnraum repräsentiert, wurde in eine 48 m³-Prüfkammer eingebaut. Bei den verwendeten Baumaterialien handelte es sich um zertifizierte emissionsarme Produkte. Die Wände des Raumes wurden mit unterschiedlichen Dämmstoffen isoliert. Die Tests wurden bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte sowohl in der Kammer als auch in dem Raum durchgeführt. Die Luftwechselraten betrugen 2,0/h in der Kammer und 0.3 – 0.4/h in der Testkabine.

Begleitend zu der Studie wurden Diffusionsexperimente mit Formaldehyd durchgeführt. Dazu wurde die Mineralwolle in eine Box (21 cm x 50 cm x 100 cm) aus Edelstahl gegeben. Diese Box wurde dann mit einer Gipskartonplatte (10 mm) abgedeckt, gasdicht versiegelt und in eine 1 m³ Prüfkammer bei T = 23°C, r.h. = 45% und n = 0.5/h gegeben. In zwei Experimenten wurde zusätzlich eine Folie zwischen Gipskartonplatte und Mineralwolle eingefügt. In einem Experiment wurde die Gipskartonplatte mit einem Primer vorbehandelt und mit einer Tapete versehen.

Die Analyse auf Formaldehyd erfolgte parallel mittels der DNPH- (2,4-dinitrophenylhydrazine-) Methode, der klassischen Acetylacetonmethode und einer Online-Acetylacetonmethode. Dabei wurde eine gute Übereinstimmung der mittels DNPH- und klassischer Acetylacetonmethode erzielten Ergebnisse gefunden. Die Online-Acetylacetonmethode erwies sich als gut geeignet für die Untersuchung dynamischer Prozesse in Prüfkammern, wo eine hohe zeitliche Auflösung gefordert ist.

1. Einleitung

Formaldehyd ist seit mehr als drei Jahrzehnten eine der meistuntersuchten Substanzen im Innenraum. Ursache hierfür ist dessen häufige Nutzung als Bestandteil vieler Bindemittel und als Konservierungsstoff (Andersen et al., 1975; Kelly et al., 1999; Chang et al., 2002; Hodgson et al., 2002). In Deutschland wurde bereits 1977 seitens des damaligen Bundesgesundheitsamtes (BGA) ein Innenraum-Richtwert von 0,1 ppm eingeführt. Die „International Agency for Research on Cancer“ (IARC) hat Formaldehyd mittlerweile als krebserzeugend beim Menschen eingestuft (International Agency for Research on Cancer (IARC), 2006). Allerdings wurde der Richtwert von 0,1 ppm 2006 durch das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) und durch eine Ad Hoc Arbeitsgruppe der Innenraumhygienekommission (IRK) am Umweltbundesamt (UBA) bestätigt. In anderen Ländern liegen die meisten Richtwertempfehlungen zwischen 0,05 und 0,12 ppm. Zur Überprüfung der Formaldehydemissionen aus Bauprodukten wurden verschiedene Methoden entwickelt. Viele dieser Methoden basieren auf Prüfkammertests unter definierten Bedingungen, wobei die durch Proben entstehende Formaldehydkonzentration in den Prüfkammern binnen 28 Tagen unter eine bestimmte Gleich-

Kunst kennt keinen Urlaub und kann sich nicht erholen oder, von den Unwegsamkeiten Prävention durchzusetzen

Arnulf von Ulmann

Noch in den 90iger Jahren des letzten Jahrhunderts war eine Pressenotiz zu Fragen der Schadstoffvermeidung in Museen absolut undenkbar, es war für die Presse nicht berichtenswert und in den Museen blieb es ein Thema der Restauratoren, die in dieser Arbeit zwar nicht behindert aber durch Desinteresse auch nicht gerade motiviert wurden. So mancher Leiter eines technischen Büros oder Architekt hatte in der Wahl von Werkstoffen für Sammlungen und Ausstellungen mehr Entscheidungskompetenz als ein Restaurator, der das Menetekel von VOC, Säuren und Formaldehyd beliebig beschwören und als Schadensquelle für seine Artefakte geradezu herunterleiern konnte.

Heute hat sich die Situation vollkommen verändert. Wenn die Neue Züricher Zeitung vom Juni 2010¹ einen eigenen Beitrag zum ‚Grünen Museum‘ publiziert und diesen durch einen Artikel zu schadstoffarmen Vitrinen ergänzt, so darf man feststellen, dass das Umweltbewusstsein in Museen offensichtlich eine Nachricht wert ist, damit Geld verdient werden kann und wohl ein öffentliches Interesse erreicht hat.

In den Ethischen Richtlinien für Museen vom Internationalen Museumsrat (ICOM), revidiert am 08. Oktober 2004, heißt es unter Punkt 2.23 Vorbeugende Konservierung: „Vorbeugende Konservierung ist ein wichtiges Element der Museumstätigkeit und der Sammlungspflege. Es ist eine wesentliche Verantwortung der Museumsmitarbeiter/-innen, ein schützendes Umfeld für die in ihrer Obhut befindlichen Sammlungen zu schaffen und zu erhalten, sei es im Depot, bei der Präsentation oder beim Transport.“²



Abb. 1: Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg, Porzellansammlung im sogen. Ostbau mit der Vitrinenausstattung von 1968

¹ nnz 02.06.2010, Nr. 124, Seite 58, ft, Teil 01

² Ethische Richtlinien für Museen von ICOM, Hrsg. ICOM Schweiz, ICOM Deutschland und ICOM Österreich, 2010. Als PDF unter www.icom-deutschland.de

Innovative Anwendungen der Tracergastechnik in Fahrzeugen, Labor- und Wohnräumen

Felix Twrdik

Kurzfassung

Es werden drei Tracergasanwendungen für unterschiedliche Fragestellungen vorgestellt, für die einerseits entsprechende Methoden entwickelt und andererseits bekannte Vorgehensweisen mit anderen Instrumenten der Innenraumanalytik kombiniert wurden. Es handelt sich um:

1.) Die Messung des Luftwechsels in Schienenfahrzeugen in einem Windkanal

Dieser Teil befasst sich mit Messungen des Luftwechsels, die im Fahrgastraum von Schienenfahrzeugen der neuesten Generation im größten Windkanal Europas durchgeführt wurden. Bei Geschwindigkeiten von 200 km/h ist die Bestimmung des Luftwechsels im Fahrgastraum über die Messung von Volumenströmen mit vielen messtechnischen Problemen behaftet. Die Tracergas-Methode stellt hier eine elegante Möglichkeit dar, auch bei hohen Geschwindigkeiten und unterschiedlichen Druckverhältnissen zwischen Fahrgastraum und Außenbereich verlässliche Aussagen über den durch die Klimaanlage realisierten Außenluft-Volumenstrom, einem wichtigen Komfort-Parameter, zu erhalten.

2.) Die Prüfung der Gasdichtheit von medizinischen Laborräumen

Durch den Einsatz von Tracergas in Kombination mit der empfindlichen Detektion werden in Hochsicherheitslabors die gasdichten Ebenen sowie die gasdichten Türen auf Fehlstellen überprüft. Gleichzeitig erfolgt die Simulation des optionalen Begasungsvorgangs, wie er im Rahmen der routinemäßigen Desinfektion meist mit Wasserstoffperoxid durchgeführt wird. Durch die Simulation ist es möglich, relevante Undichtheiten, die zu einer signifikanten Belastung der Luft in den umgebenden Räumen und zu einer Überschreitung der maximalen Arbeitsplatzkonzentration führen könnten, aufzuzeigen und gezielte Sanierungsmaßnahmen zu treffen.

3.) Fallstudie zur Belastung eines Wohnraums mit Abgas aus der Heizanlage

Es wird eine Fallstudie beschrieben, bei der in einem Einfamilienhaus die Belastung eines Wohnraums mit Abgas aus der Heizanlage nachgewiesen und die Ursache eindeutig geklärt werden konnte.

Einleitung

Tracergasmethoden haben sich als hilfreiches Mittel für unterschiedliche Aufgaben in der Gebäudediagnostik bewährt. So beschreiben die VDI 4300-7 und die DIN EN ISO 12569 den Stand der Technik zur Bestimmung des Luftwechsels in Gebäuden. Beispielsweise wurden bereits im Rahmen des siebenten AGÖF-Fachkongresses komplexe Luftwechseluntersuchungen sowie erprobte Tracergasanwendungen zur Bestimmung von Luftströmungen in Gebäuden und zur Ermittlung von Geruchsquellen vorgestellt (Tappler et al. 2004; Thumulla, Weber 2004). Spezielle Anwendungen wie eine Methode zur Bestimmung der Lüftungsleistung in fahrenden PKW's wurde von Kvisgaard, Pejtersen (2005) beschrieben. Im Folgenden werden drei weitere Problemstellun-

Veränderungen des Belastungsspektrums im Innenraum

Dieter Marchl, Barbara Kafadaroglu

Abstrakt

Bei Innenraumluftmessungen findet man in der Regel eine Vielzahl von flüchtigen organischen Verbindungen in unterschiedlichen Konzentrationsbereichen. Viele dieser Verbindungen, wie Alkane, Aromaten oder Terpene weisen wir schon seit 20 Jahren nach und die durchschnittlichen Raumluftkonzentrationen der meisten dieser Substanzen unterscheiden sich heute nicht wesentlich von früheren Messungen.

Aber die findige Industrie beglückt uns immer mal wieder mit neuen Substanzmustern oder in Innenräumen bis dato irrelevanten Stoffen, wie z. B. dibasische Ester, die uns zum erstenmal 2007 begegneten.

Und manchmal erleben auch schon ausgestorben geglaubte Schadstoffe wie Phenole oder Kresole eine Renaissance, die aus neu verklebten Bodenbelägen emittierten.

Die Bewohner von Fertighäusern, die in den 60er bis 70er Jahren einer Behandlung mit Pentachlorphenol (PCP) unterzogen wurden, klagen zunehmend über Geruchsauffälligkeiten. Oft ist die Bildung von Chloranisolen dafür verantwortlich.

Die Substitution von inzwischen als gesundheitlich bedenklich eingestuften Substanzen durch Stoffe über die man noch keine derartigen Erkenntnisse besitzt, führt zu weiteren Veränderungen im Belastungsspektrum. Die nachweisbaren Konzentrationen des Phthalatsäureesters Diethylhexylphthalat (DEHP) im Hausstaub sind z.B. seit Jahren rückläufig, dafür tauchen andere Phthalate auf.

Wenn die Substanzen schwieriger zu substituieren sind, beispielsweise bei der als Hautverhinderungsmittel Lacken oder Dichtungsmassen zugesetzten Substanz Butanonoxim, die im Verdacht steht krebserzeugend zu sein, ist ein solcher Trend nicht feststellbar.

Da der zulässige Lösemittelgehalt bei vielen Bauprodukten mit den Jahren abgesenkt wird (z.B. Decopaint-Richtlinie), kommen wasserlöslichere Verbindungen, wie bekannte und neue Glykolverbindungen vermehrt zum Einsatz.

Um Veränderungen im Schadstoffspektrum nachweisen zu können, sind Probenahmeverfahren und analytische Messmethoden wie Thermodesorption und Massenspektrometer hilfreich. Ein umfassendes Screening ermöglicht auch die Erfassung von Schadstoffen, die noch nicht in der Routineauswertung enthalten sind.

Belastungen der Raumlufte durch **Phenole** und **Kresole** sind vor allem auf dem Gebiet der ehemaligen DDR durch die Verwendung von Bodenbelagskleber auf Basis phenolhaltiger Klebstoffe in den 50er und 60er Jahren bekannt. Aber auch sogenannte Steinholzestriche, Teerölprodukte, mit Phenolharzen gebundene Spanplatten, phenolhaltige Grundierungen und Desinfektionsmittel zur Flächenreinigung können die Ursache von Phenolverbindungen in der Raumlufte sein. Viele Phenole und Kresole sind bereits in Konzentrationen von wenigen Mikrogramm pro Kubikmeter Luft geruchlich wahrnehmbar und in der Regel ist der unangenehme und anhaftende Geruch Anlass einer Raumlufte messung.

VOC in der Raumluf von Containergebäuden

Beispiele aus den Freimessungen von 22 Containergebäuden im Bereich der Schulen und Kindertagesstätten der Stadt Nürnberg

Norbert Nix

20-Fuss-Container, einst entwickelt als Standardtransportverpackung für Güter aller Art, haben sich so ganz nebenbei als Lösung für beengte Raumsituationen entwickelt. Dabei sind den Gestaltungsmöglichkeiten keine Grenzen gesetzt, lassen sie sich doch beliebig oft neben- und übereinander stapeln. Als Beispiele seien erwähnt „Container City“ in London, 2001 aus 50 Transportcontainer, „Keetwonen“ Studentenwohnheime in Amsterdam 2005 aus 1000 und die Polarstation „Neumayer III“ 2009 aus 99 Container zusammengestellt.

Um 1997 wurden die ersten Containergebäude im Bereich Schulen und Kindertagesstätten der Stadt Nürnberg errichtet. Allerdings blieben sie in den Folgejahren eher die Ausnahme, bis dann zwischen Januar 2003 und Juni 2010 an insgesamt 22 Standorten Containergebäude unterschiedlicher Größe errichtet wurden. Sie dienen überwiegend als Ausweichquartiere bei der Erstellung von Neubauten an den alten Schulstandorten und der Durchführung von Gebäudesanierungen. Wurden 2003/2004 nur Containergebäude aus neuen Einheiten erstellt, kamen ab 2006 auch Gebäude aus gebrauchten Einheiten hinzu. Die Anzahl der Container pro Objekt schwankt zwischen 4 und 270 Stück, entweder neue (N) oder gebrauchte (G). Kleine Containergebäude überwiegen. So bestehen 13 der 22 Containergebäude aus 8 bis 20 Einheiten, die 2 bis 4 Klassenräume ergeben. Etwa 1/3 der Containergebäude können als „Dauereinrichtung“ bezeichnet werden.

Seit 1996 werden durch die Umweltanalytik Nürnberg Raumlufmessungen auf VOC in den städtischen Liegenschaften durchgeführt, zunächst nur in Beschwerdefällen, sehr schnell aber schon auch aus Vorsorgegründen. Ein Grund für die veränderte Vorgehensweise war die lang anhaltende Styrolbelastung in einem neuen zweigeschossigen Containergebäude, die zunächst wie gewünscht abnahm, aber nach Monaten wieder anstieg. Die Ursache war ein Zweikomponentenkleber, der im Dachausbau vor Ort eingesetzt wurde. Das Gebäude war im Oktober 1997 erstellt worden. Durch die sinkenden Außentemperaturen sanken auch die Raumlufwerte, die dann in Frühling wieder anstiegen. Das Dach wurde saniert, und das Styrol in der Innenraumluf - nur noch Geschichte. Die Styrolrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) gab es danach.

Auch die Containergebäude werden, wie konventionell errichtete oder sanierte Gebäude, vor der Übergabe an die Nutzer freigemessen. Die Freimessungen laufen nach einem festgelegten Schema ab. (1) Die Stadt Nürnberg hat sich für dieses Vorgehen entschieden, um eine größtmögliche Vergleichbarkeit auch bei späteren Vergleichsmessungen sicherstellen zu können. Mit den Messungen wird a) dokumentiert, dass keine vermeidbaren Raumlufbelastungen, verursacht durch verwendete Baustoffe, vorliegen und b) ein planmäßiges Absinken der Belastung kontrolliert. Auch die Containergebäude werden, wie konventionell errichtete oder sanierte Gebäude, vor der Übergabe an die Nutzer freigemessen.

Bedingt durch die fließbandartige Produktion der Einheiten haben die VOC aus der inneren Konstruktion (Stahlrahmen, Dämmung) keine Möglichkeit im offenen System abzudampfen. Im Regelfall werden die Einheiten für den Transport in Folie verpackt, möglichst direkt, da so auch die Möglichkeit gegeben ist die Einheiten bis zum Transport im Außenbereich zwischen zu lagern. Es ist somit mit verlängerten Ausdampfphasen zu

Schadstoffbelastungen in Schul- und Bürocontainern

Dieter Marchl, Ruth Cremer

In den letzten Jahren waren wir häufiger mit der Problematik befasst, dass Schulen, Kindertagesstätten und andere Einrichtungen als Ausweichräume Raumcontainer anmieteten, um beispielsweise die Sanierung eines Gebäudes oder größere Umbauten durchführen zu können. Im Folgenden sind 5 Beispiele angeführt, die zeigen sollen, mit welchen flüchtigen organischen Substanzen (VOC) bei der Nutzung von Containern zu rechnen ist und welche mögliche Quellen hierfür in Frage kommen.

Beispiel 1:

In drei zu einem Veranstaltungsort gehörenden Bürocontainern beklagten sich Mitarbeiter, die in diesen Containern arbeiteten, über schlechte Raumluftqualität, schlechten Geruch und gesundheitliche Beschwerden wie Kopfschmerzen, Reizungen der Augen, der Haut und der Atemwege.

Die Container stehen bereits seit 1989 bzw. 1994. Im Zuge eines Umbaus 2006 – 2007 wurden die Container mit neuen Teppichböden ausgestattet.

Bei einer Begehung der Container im Mai 2008 waren in zwei der drei Container intensive Gerüche wahrnehmbar. Die Geruchscharakteristik in beiden Containern wies auf den Bodenaufbau, insbesondere die Kombination Nadelvlies/Teppichkleber als mögliche Quelle für geruchsintensive flüchtige organische Verbindungen (VOC) hin. Der Wandaufbau der Container (beschichtete Spanplatte) wies auf eine mögliche Belastung der Raumluft mit Formaldehyd hin.

Die Raumluftmessungen im ungelüfteten Zustand ergaben Konzentrationen von etwa $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ethylenglykolmonophenylether (EGMP, 2-Phenoxyethanol) in den beiden intensiv riechenden Containern. EGMP ist eine geruchsintensive Substanz, die bereits vor über 10 Jahren als hochsiedende Verbindung in Bodenbelagsklebstoffen unangenehm auffiel und für langanhaltende Raumluftbelastungen sorgte. Die Formaldehydkonzentration lag bei $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Darüber hinaus waren noch etwa $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höhere Aldehyde nachweisbar. Eine potenzielle Quelle für die in erhöhten Konzentrationen nachgewiesenen Aldehyde lag primär im Bodenaufbau. Der geruchlich eher unauffällige Container wies deutlich niedrigere Konzentrationen an EGMP und Aldehyden auf.

Beispiel 2:

Im folgenden Beispiel wurden Container neben einem Schulgebäude eingerichtet, gereinigt und die Böden versiegelt und eingepflegt. Anschließend wurde exemplarisch in einem Container eine Raumluftmessung beauftragt. Die Messung fand im ungelüfteten Zustand statt. Die Gesamtbelastung an flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) lag bei $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An auffälligen Substanzen konnten neben Terpenen vor allem Glykolverbindungen und Alkohole nachgewiesen werden. Die Konzentration an EGMP lag bei $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Terpene wurden vermutlich aus den Holzmöbeln und dem Fußboden freigesetzt. Der Hauptanteil der Glykolverbindungen rührte von einem Aktivreiniger und einem Spezial-Grundreiniger her. Beide enthielten Diethylenglykolmonobutylether (DEGMB, 2-(2-Butoxy-ethoxy)-ethanol, Butyldiglykol). Der Grundreiniger enthielt zusätzlich Ethylenglykolmonobutylether (EGMB, 2-Butoxyethanol, Butylglykol) und Ethylenglykolmonophenylether (EGMP).

Formaldehyd in Saunen

**Peter Tappler, Bernhard Damberger,
Felix Twrdik, Claudia Schmöger**

Einleitung

Schadstoffmessungen des Parameters Formaldehyd in den Jahren 2008 bis 2010 zeigten, dass in Saunakammern, die zum Teil mit unbehandeltem Holz ausgestattet wurden, über einen längeren Zeitraum erhöhte Konzentrationen an Formaldehyd in der Raumluft der Kammern nachweisbar waren, es waren auch ältere Kammern betroffen (Tappler et al. 2010). Dies erlangte deshalb Relevanz, da Saunaanlagen in Österreich bewilligungspflichtig sind und einerseits laut Bäderhygienegesetz keine Gefährdung der Gesundheit der Badegäste oder der Gäste der Sauna-Anlagen, Warmluft- oder Dampfbäder, insbesondere in hygienischer Hinsicht zu erwarten sein darf, andererseits laut Bäderhygieneverordnung in der Saunakammer verwendete Materialien in betriebsüblichen Temperaturbereichen keine negativen Auswirkungen auf die Saunabesucher haben dürfen.

Vollholz gibt bei Raumtemperatur nur vernachlässigbar geringe Mengen an Formaldehyd ab (Meyer und Boehme 1997). Die vorhandenen Informationen sowie in der Vergangenheit durchgeführte punktuelle Messungen belegen allerdings, dass in Saunakammern eine deutliche und über einen längeren Zeitraum andauernde Emission von Formaldehyd aus erhitztem Rohholz gegeben ist. Diese Emission erklärt sich dadurch, dass bei der Erhitzung von Holz durch die Spaltung von Lignin, Cellulose und Hemicellulosen unter anderem Formaldehyd entsteht (Schäfer und Roffael zitiert in Dunky und Niemz 2002). Über den Einfluss verschiedener Holzarten auf die Formaldehydabgabe bei höheren Temperaturen existierten nur wenige Fachbeiträge. In einer Studie zeigte sich eine starke Abhängigkeit der Emission von der Trocknungstemperatur (Maximum bei etwa 120°C), der Holzart sowie der Position des Holzes im Stamm (Young 2009). Auch bei Holzwerkstoffen, die mittels konventionellen, Formaldehyd abspaltenden Klebern (Leimen) produziert wurden, sind bei derart hohen Temperaturen, wie sie in Saunen und Infrarotkabinen gegeben sind, hohe Emissionen zu erwarten.

Ergebnisse der Luftuntersuchungen in Saunakammern

Die Ergebnisse der Luftuntersuchungen in Saunakammern („Finnische Saunen“) zeigten in 10 von 26 der stichprobenartig untersuchten Kammern Konzentrationen an Formaldehyd, die deutlich oberhalb von 0,1 mg/m³ (als Halbstundenmittelwert) lagen (Tappler et al. 2010).

In 5 von 7 Saunakammern, in denen Holzwerkstoffe, die mittels konventionellen, Formaldehyd abspaltenden Klebern (Leimen) verleimt wurden, vorhanden waren, zeigten sich Formaldehydkonzentrationen deutlich oberhalb von 0,1 mg/m³, eine Überschreitung des Wertes von 0,5 mg/m³ wurde allerdings nur in einer Sauna festgestellt. In 4 von 6 untersuchten Saunakammern, in denen Fichtenholz eingesetzt wurde, zeigten sich ebenfalls Konzentrationen an Formaldehyd, die deutlich oberhalb von 0,1 mg/m³ lagen, zum Teil lag hier der Luftwechsel in einem niedrigen Bereich. Im Durchschnitt lag jedoch die Formaldehydkonzentration in Fichtensaunen deutlich unterhalb jener, die in Saunen mit konventionellen, nicht formaldehydfreien Holzwerkstoffen gemessen wurde. Die primäre Ursache der erhöhten Formaldehydkonzentrationen war in Emissionen der in den Kammern verwendeten Materialien anzunehmen.

Reizwirkungen und pulmonale Effekte nach kurzzeitiger Exposition gegenüber VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen

Julia Hurraß, Richard Gminski, Volker Mersch-Sundermann

Einleitung

Aufgrund der neuen baulichen Anforderungen bezüglich der Energieeffizienz weisen viele neue Gebäude einen sehr geringen Luftwechsel auf. In der Folge kommt es in letzter Zeit in Innenräumen wieder verstärkt zur Anreicherung flüchtiger organischer Verbindungen (VOC), die aus Baumaterialien oder Einrichtungsgegenständen emittiert werden. In Bezug auf die gesundheitlichen Wirkungen dieser Emissionen stehen irritative Effekte, wie Reizungen der Augen, der Nase und der oberen Atemwege, im Vordergrund (Doty et al. 2004). Die zunehmende Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen in Innenräumen hat die Diskussion in den letzten Jahren auf die damit verbundenen Emissionen und ihre möglichen Gesundheitseffekte gelenkt.

Es ist bekannt, dass Kiefernholz (*Pinus sylvestris*) und Europäisches Fichtenholz (*Picea abies*) zahlreiche geruchsaktive Verbindungen an die Raumluft abgibt. Bei der Bewertung von Expositionen gegenüber Holz-basierten VOC sollte deshalb auch die geruchliche Wahrnehmung (Hedonik) betrachtet werden. Als Hauptkomponenten von Kiefernholz-Emissionen wurden die Monoterpene α -Pinen und Δ^3 -Caren identifiziert (Baumann et al. 1999, 2000; Risholm-Sundman et al. 1998). In den letzten zwei Jahrzehnten hat eine deutliche Zunahme der Terpen-Konzentrationen (u.a. α -Pinen, β -Pinen und Δ^3 -Caren) in der Innenraumluft stattgefunden (Schleibinger et al. 2001; Schreiner et al. 2001). Typische Konzentrationen in der Innenraumluft sind dennoch gering und liegen bei 7 bis 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für α -Pinen und bei 4 bis 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Δ^3 -Caren (Lux et al. 2001; Mersch-Sundermann 2007). Nur in neuen oder gerade renovierten Häusern können α -Pinen-Konzentrationen bis zu mehreren hundert $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht werden (Hodgson et al. 2000; Lux et al. 2001).

Neben den Vollhölzern kommen beim Hausbau auch häufig OSB-Platten (Oriented Strand Board) zum Einsatz. In Deutschland werden diese ebenfalls vorwiegend aus Kiefernholz (*Pinus sylvestris*) produziert. Die aus den OSB-Platten während der Produktion und den verschiedenen Nutzungsphasen emittierten VOC, die überwiegend auf den Holz-spezifischen Harzen beruhen, sind in mehreren Studien beschrieben worden (Makowski und Ohlmeyer 2005; Salthammer et al. 2003). Wie beim Kiefernholz bestehen die OSB-Emissionen hauptsächlich aus Terpenen, wie α -Pinen, β -Pinen und Δ^3 -Caren, beinhalten aber darüber hinaus noch gesättigte (Pentanal, Hexanal) und ungesättigte Aldehyde (Heptenal, Octenal). Die Aldehyde werden über einen Zeitraum von mindestens sechs Monaten aus den OSB-Platten freigesetzt (Ohlmeyer et al. 2006).

Als vorrangige Gesundheitswirkungen der Holz- und Holzwerkstoff-basierten VOC werden olfaktorische und trigeminale Effekte, wie z.B. Schleimhaut-Irritationen der oberen Atemwege, genannt (Falk et al. 1991a,b; Kasanen et al. 1999; Mersch-Sundermann 2007; Wolkoff et al. 2003). Zur Charakterisierung der chemosensorischen Irritationen, welche durch chemische Stimulation der trigeminalen, glossopharyngealen oder vagalen Nerven entstehen, muss eine breite Palette an physiologischen Wirkungen erfasst werden, wobei sensorische, sekretorische, respiratorische, zelluläre und biochemische Endpunkte herangezogen werden sollten. Für Hexanal und weitere niedermolekulare Aldehyde, die beim Herstellungsprozess der OSB-Platten wahrscheinlich

Vorkommen und Bewertung hormonartig wirkender Stoffe in verbrauchernahen Produkten

Heribert Wefers

Den hormonartigen Wirkungen chemischer Fremdstoffe auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit wird seit den 1990er-Jahren zunehmend Bedeutung zugemessen. Allgegenwärtige, in hohen Tonnagen produzierte Chemikalien wie Phthalat-Weichmacher und Bisphenol A haben das Potential, insbesondere bei Kindern und Ungeborenen bereits in niedrigen Konzentrationen irreversible Schäden hervorzurufen. Die Substanzen sind Bestandteil von zahlreichen verbrauchernahen Kunststoffprodukten des Bau-, Wohn- und Spielbereiches und von Materialien, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen. Sie sind im Blut von praktisch allen Kindern und Erwachsenen vorhanden, zum Teil in toxikologisch relevanten Konzentrationen. Die aktuelle Situation und deren Bewertung werden am Beispiel des Bisphenol A und der Phthalate aufgezeigt, beides östrogenartig wirkende Chemikalien.

1. Einleitung

Die Diskussion um die Bedeutung hormonartig wirkender chemischer Verbindungen entwickelte sich in den frühen 1990er Jahren. Die meisten Arbeiten befassten sich derzeit mit dem Nachweis dieser Stoffe, etwa künstlichen Hormonen oder Arzneimittelrückständen in Gewässern und den damit verbundenen Schäden auf Fische und andere Wasserorganismen. 1991 wurde auf einer Konferenz in Wingspread, Wisconsin der Begriff **"endokriner Disruptor"** (endocrine disrupting chemical, EDC) geprägt. 1993 stellte Theo Colborn die These auf, dass EDC die Entwicklung des Hormonsystems von Tieren und Menschen beeinträchtigen und zu bleibenden gesundheitlichen Störungen führen können. Seitdem gibt es eine Fülle von Hinweisen darauf, dass extrem niedrige Konzentrationen endokriner Disruptoren vor allem in den besonders sensiblen Entwicklungsphasen wie der Schwangerschaft zu irreversiblen Schädigungen wie Fruchtbarkeitsstörungen und Entwicklungsstörungen des Hormonsystems sowie des Gehirnentwicklungs führen. Auch die erhöhte Häufigkeit bestimmter Krebsformen wurde beschrieben. Die Bewertung aktueller Expositionssituationen wird zum Teil sehr kontrovers geführt.

Zu den hormonaktiven Schadstoffen gehören neben zahlreiche Pestiziden, PCB, Dioxinen, Nonylphenolen und Organozinnverbindungen einige in sehr großen Mengen produzierte Industriechemikalien, die über allgegenwärtige verbrauchernahe Erzeugnisse zu einer Belastung der Umwelt, der Wohnräume und der Nahrung führen. Neben den Phthalat-Weichmachern ist es vor allem Bisphenol A, welches als Bestandteil von Massenkunststoffen in der aktuellen Diskussion ist.

2. Hormonell wirksame Stoffe: Eine neue Dimension

Endokrine Schadstoffe (endocrine disrupting chemicals, EDC) sind Chemikalien, die sich durch folgende Eigenschaften auszeichnen:

- Sie greifen in das Hormonsystem und das hormonelle Gleichgewicht eines Organismus ein, indem sie ähnlich wie Hormone wirken oder die Wirkung von Hormonen blockieren,
- Sie können Wachstums-, Entwicklungs- und Fortpflanzungsvorgänge beeinträchtigen,
- Sie sind bei sehr niedrigen Konzentrationen wirksam (Niedrig-Dosis-Wirkung)

Einbindung der verschiedenen Akteure bei der Sanierung schadstoffbelasteter Bausubstanz

Dr. Thomas Hoffmann, Peter Braun

An der Identifizierung und Sanierung schadstoffbelasteter Gebäude sind in der Regel eine Vielzahl von Akteuren beteiligt. Neben den Nutzern kontaminierter Räume können Gebäudeeigentümer oder Vermieter, Architekten, Planer, Baufirmen, Bauleiter, ausführende Firmen, Arbeitsschützer, Gutachter bis hin zu Herstellern von Bauprodukten und Denkmalschützer eine mehr oder weniger wichtige Rolle spielen.

Im Interesse einer effizienten Gestaltung der bisweilen recht dynamischen Sanierungsprozesse gilt es, die relevanten Akteure zu identifizieren, deren Interessen und Kompetenzen zu erkennen und deren Handeln zu steuern und zu kontrollieren.

Die Humboldt-Universität zu Berlin verfügt über eine Vielzahl geschichtlich interessanter und architektonisch vielfältiger Bauten, von denen sich ein großer Teil zu Beginn der 90er Jahre in sanierungsbedürftigem Zustand befand. Seit dem Mauerfall 1989 wurden viele Gebäude saniert, umgebaut und erweitert. Dieser Prozess ist bis heute nicht abgeschlossen. Häufig enthalten Teile der sanierungsbedürftigen Gebäude Schadstoffe, wie teerhaltige Beschichtungen oder Kleber, mit Bioziden behandelte Holzbauteile, phenolhaltige Bodenbelagskleber und Ausgleichsmassen, Asbest oder künstliche Mineralfasern. Oft werden Schadstoffe auch im Zuge der Baumaßnahmen mit den neu eingebrachten Bauprodukten eingetragen.

Am Beispiel zweier schadstoffbelasteter Gebäude der Humboldt-Universität sollen Aspekte des Zusammenwirkens der an den jeweiligen Sanierungsmaßnahmen beteiligten Akteure gezeigt werden.

Beispiel Geschwister-Scholl-Straße 7

Der Gebäudekomplex an der Geschwister-Scholl-Straße wurde von 1898 bis 1901 als Kaiser Alexander Garde-Grenadier-Kaserne erbaut. Die Kaserne wurde nach der Auflösung der Garderegimenter 1920 von kasernierten Polizeieinheiten, der Reichswehr, der Wehrmacht, der Kasernierten Volkspolizei und bis 1990 vom Wachregiment der Nationalen Volksarmee der DDR „Friedrich Engels“ genutzt. Das Gebäude, insbesondere der jetzt von der HU genutzte Teil, wurde im II. Weltkrieg teilweise beschädigt, nach 1945 für die Aufnahme alliierter Truppen wieder instand gesetzt und 1950 erweitert. Bis zum Mauerfall wurde das Gebäude Geschwister-Scholl-Straße 7 als Kaserne genutzt. Schon damals wurde der bauliche Zustand von Angehörigen des dort stationierten Wachregiments für das Mahnmal für die Opfer des Faschismus unter den Linden (die 1816-18 von Karl Friedrich Schinkel erbaute Neue Wache, seit 1993 Zentrale Gedenkstätte der Bundesrepublik Deutschland) als „katastrophal“ bezeichnet. Anfang der 1990er Jahre übernahm die Humboldt-Universität den Komplex und begann mit dem Umbau des Gebäudes. Der Fachbereich Erziehungswissenschaften mit mehreren hundert Büros, Seminarräumen und Hörsälen sollte hier untergebracht werden. Bis dahin waren die Einrichtungen des Instituts auf verschiedene teils angemietete, teils im Eigentum der HU befindliche Häuser verteilt. Das Gebäude wurde aufwändig saniert und umgebaut, die Räume nach und nach fertiggestellt, und ab 1993 zogen die ersten Institutsmitarbeiter ein.

Auftreten von Schadstoffen in Innenräumen: Darstellung rechtlicher Grundlagen und der hierzu ergangenen Rechtsprechung

Jochen Kern

Vorwort

Es ist kaum möglich, im Rahmen eines derartigen Vortrags die rechtlichen Rahmenbedingungen vollständig darzustellen. Deshalb soll im folgenden nur eingegangen werden auf die häufigsten Rechtsfragen: In aller Regel sind beim Auftreten von Schadstoffen in Innenräumen die Raumnutzer (Personen oder sonstige Personenvereinigungen wie Vereine, Unternehmen, Behörden etc.) betroffen, die entweder selbst Eigentümer sind oder mit diesen vertraglich verbunden sind. Der Eigentümer ist derjenige, dem die Rechte am Objekt zustehen, der also befugt ist, Substanzveränderungen vorzunehmen oder zu veranlassen. Aufgrund der vertraglichen Beziehungen ist er dazu in der Regel auch verpflichtet. Deshalb stellt sich die erste Frage nach dem Eigentümer und dessen Beteiligung. Anschließend muss die Frage beantwortet werden, welche weiteren Personen durch die Schadstoffbelastung beeinträchtigt sind und in welcher rechtlichen Beziehung diese zum Eigentümer stehen. Selbst wenn ein betroffener Dritter in keiner vertraglichen Beziehung steht (z.B. Besucher), können diesem eigene Ansprüche zustehen, die etwa mit dem rechtlichen Begriff "Vertrag mit Schutzwirkung zugunsten Dritter" umschrieben werden.

Daneben können auch Behörden (z.B. für Betriebsgenehmigungen, Gesundheitsaufsicht, als Träger etc.) beteiligt sein, bei denen ebenfalls Ansprüche in Frage kommen können. Unter Umständen stehen hinter einzelnen oder allen Beteiligten auch Versicherungen (Sachversicherung wie z.B. Gebäudeversicherung oder als Haftpflichtversicherung), die wiederum zu ihren Versicherungsnehmern in vertraglicher Beziehung stehen.

In nahezu jedem Fall ergeben sich vielfältige rechtliche Beziehungen der beteiligten Personen untereinander, die alle strikt auseinander gehalten werden müssen, damit es nicht zu Versäumnissen kommt. Natürlich ist es auch ohne weiteres denkbar, dass die gegenüber den einzelnen Beteiligten zu beachtenden gesetzlichen Vorgaben sich wechselseitig stören oder gar widersprechen, sodass es grundlegend wichtig ist, für die Planung der Vorgehensweise gründlich alle denkbaren Ansprüche zu erfassen und nach Möglichkeit alle Aspekte zu berücksichtigen. Problematisch wird dies, sobald erst im Laufe einer Aufarbeitung eines Schadensfalles weitere denkbare Anspruchsgegner hinzukommen. In dieser Situation kann bereits "das Kind in den Brunnen gefallen sein". Um dieses Risiko zu reduzieren, erbitten wir von unseren Mandanten die Erstellung einer möglichst vollständigen Chronologie, um darüber möglichst vollständig zu erfahren, was passiert ist.

Daneben erweist sich eine solche Chronologie als wertvolle Gedächtnisstütze bei der weiteren, manchmal jahrelangen Auseinandersetzung. Andernfalls riskiert man, mitten in einer Auseinandersetzung mit einer Information konfrontiert zu werden, die die gesamte Strategie "über den Haufen wirft" und eine grundlegende Korrektur erfordert (und womöglich neue Ansprüche und -gegner eröffnet; vgl. oben). Alles in allem ist festzustellen, dass eine solche juristische Aufarbeitung umso schwieriger und komplexer wird, je weniger die Vorgehensweise von Anfang an geplant und durchdacht wird. Ich vermag natürlich nicht abzuschätzen, ob ich "den Stein der Weisen" gefunden habe, ich kann nur bestätigen, dass die Bearbeitung erheblich schwieriger ist, wenn ich erst mitten in der

Richtwerte für die Innenraumluft: Aktuelle Entwicklungen 2010

Helmut Sagunski

Zusammenfassung

Vorgestellt werden folgende Punkte:

- derzeit in der Bearbeitung befindliche Richtwerte von Stoffen des aktuellen Arbeitsprogramms der deutschen Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte,
- Anpassung des Basisschemas zur Ableitung von Richtwerten an internationale Bewertungsmaßstäbe
- Überlegungen zur Verwendung von Geruchsschwellen und Geruchsaktivitätskoeffizienten
- Bedeutung der WHO-IAQG für die Arbeit der Ad-hoc-Arbeitsgruppe
- Verbessertes Internetangebot der Ad-hoc-Arbeitsgruppe

Einleitung

Entsprechend einem Beschluss der Gesundheitsministerkonferenz setzt die deutsche Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden bundeseinheitliche Richtwerte für ausgewählte Stoffe bzw. Stoffgruppen in der Innenraumluft fest. Im Folgenden sollen die derzeitigen Schwerpunkte der Arbeit der Ad-hoc-Arbeitsgruppe aufgezeigt werden.

Prioritätensetzung

Im Frühjahr 2009 hat die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte ihre Mitglieder nach zukünftigen prioritär zu bearbeitenden Stoffen bzw. Stoffgruppen befragt. Ausgangsgrundlage war eine Liste von 14 Substanzen, die in der Frühjahrssitzung 2009 vorgeschlagen worden war. Im Ergebnis wurde im Juli 2009 ein Arbeitsprogramm für 2009-2010 festgelegt. Dieses Programm ist auch auf der Startseite der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte beim UBA abrufbar (www.umweltbundesamt.de/gesundheit/publikationen/adhocag_liste_prio_stoffe_2010.pdf) und umfasst die nachfolgend genannten Stoffe bzw. Stoffgruppen (in alphabetischer Reihenfolge). Ziel ist es, Stoffberichte zu erstellen und anhand dieser Berichte zu prüfen, ob sich Richtwerte für die Innenraumluft ableiten lassen.

Liste prioritärer Stoffe 2009 – 2010

- C₂ – C₃-Aldehyde
- C₂ – C₈-Alkansäuren
- Aromatische Kohlenwasserstoffe (C₈ – C₁₅)
- Benzaldehyd
- Benzothiazol

Erste Praxiserfahrungen zur Anwendung des AGÖF-Leitfadens zur Sensorischen Bestimmung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen im Neubau eines Büro- gebäudes mit multifaktoriellen Geruchsproblemen

Jörg Thumulla

Vorwort

Die umfangreichen Daten des vorliegenden Projekts ermöglichen erstmals eine fundierte Fehlerrechnung für Geruchsbegehungen (siehe Schmidt, Thumulla 2010) und dient dazu die im AGÖF Leitfaden beschriebene Vorgehensweise anhand von Messdaten zu validieren. Weiterhin können Korrelationen zwischen sensorischen Geruchsbestimmungen vor Ort und chemischer Analytik aufgezeigt werden. Insgesamt wurden 48 Räume mit einem trainierten Prüfer-Team aus fünf Personen und vergleichend einem untrainierten Prüfer-Team aus vier Personen in einem Gebäudekomplex gemäß AGÖF-Richtlinie bewertet, wobei multifaktorielle Ursachen für die Geruchsprobleme im Gebäude vorhanden waren und sich die Art der Gerüche und deren Intensität in den einzelnen Räumen signifikant voneinander unterschieden. Da die Ergebnisse im Rahmen eines Gerichtsgutachtens gewonnen wurden, können sie nur anonymisiert dargestellt werden. Eine Zuordnung zum untersuchten Objekt darf nur Personen möglich sein, die das Gutachten vorliegen haben.

Ausgangslage

Im Neubau eines Autohauses im Süddeutschen Raum klagten die Nutzer des Bürogebäudes mit etwa 2000 m² Bürofläche auch ein Jahr nach Bezug über intensive Gerüche und damit verbundene Befindlichkeitsstörungen. Im Rahmen eines Beweissicherungsverfahrens sollte daher im Frühjahr 2008 folgende Fragestellung geklärt werden (Auszug)¹:

1. *Ist die Raumluft geruchlich in einer Weise beeinträchtigt, die über den typischen renovierungsüblichen Neubaugeruch hinaus geht?*

Wenn ja,

2. *Was ist die Ursache der Geruchsbelastung?*
3. *Welche Maßnahmen sind zur Beseitigung der festgestellten mangelhaften Zustände erforderlich?*

Der Sachverständige wird für den Fall der Untersuchung darauf hingewiesen, dass in verschiedenen Räumen völlig unterschiedliche Verhältnisse herrschen. In manchen Räumen ist von einer Geruchsbeeinträchtigung nichts festzustellen, in anderen Räumen gibt es Geruchsbeeinträchtigungen. Die erheblichen Unterschiede können ein Hinweis darauf sein, in welchem Gewerk die Ursache für die Geruchsbeeinträchtigung liegt.

¹ Aufgrund der gerichtlichen Bearbeitung des Fall muss dieser anonymisiert dargestellt werden.

Geruchsbegehungen im Rahmen der Sanierung historischer Gebäude in der Speicherstadt in Hamburg

Manfred Santen

Während in Deutschland für die Bewertung von Geruchsimmissionen im Außenbereich ein eingeführtes Verfahren existiert (Geruchsimmissionsrichtlinie – GIRL), gibt es für die Geruchsbewertung in Innenräumen bisher kein einheitliches und erprobtes Verfahren. Die Arbeitsgemeinschaft der Ökologischen Forschungsinstitute (AGÖF) hat einen Leitfaden für die Bewertung von Gerüchen erarbeitet, der im 2010 veröffentlicht wird (siehe Anhang zu diesem Reader).

Im Folgenden werden exemplarisch Geruchsprüfungen beschrieben, die für die Umnutzung eines ehemaligen Lagergebäudes in hochwertigen Büroraum sowohl zur Bestandsaufnahme als auch zur Überprüfung der Sanierung unerwünschter Gerüche dienen.

Das Gebäude ist Teil der Hamburger Speicherstadt und diente viele Jahrzehnte lang als Teppichlager und in Teilen auch als Lager für Lebensmittel. Vor dem Beginn der Sanierung in 2006 stand das Gebäude ca. 10 Jahre leer. Dennoch waren insbesondere in den Teilen des Gebäudes, in denen Kaffee, Kakao sowie Tee und Tierdärme gelagert worden waren, deutliche Geruchsauffälligkeiten wahrnehmbar. Ein Schema der ehemaligen Nutzung ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abb. 1: Schema der ehemaligen Lagernutzung (farbig gekennzeichnet) und Skizzierung der kleinteiligen Büronutzung nach Umbau

Fehlerbetrachtung von Geruchsprüfungen anhand exemplarischer Auswertungen durchgeführter Untersuchungsprojekte

Schmidt Matthias, Jörg Thumulla

Einführung

Das angewendete Verfahren zur Geruchsprüfung soll möglichst objektiv sein. Dies bedeutet, dass unterschiedliche Geruchsprüfer unter den gleichen Randbedingungen im Rahmen der verfahrensbedingten Versuchsstreuung zu annähernd den gleichen Ergebnissen kommen. Es muss sichergestellt sein, dass unterschiedliche Gutachter nicht aus methodischen Gründen bzw. wegen systematischer Fehler beim gleichen Sachverhalt zu unterschiedlichen Messergebnissen gelangen. Die Forderung der Objektivität begründet sich aus dem Gebot der Gleichbehandlung. Verfahrensbeschreibungen haben daher so ausführlich und eindeutig zu sein, dass die Objektivität im Grundsatz nicht in Frage steht.

Die zweite Forderung betrifft die möglichst weitgehende Reproduzierbarkeit. Dies bedeutet, dass auch ein und derselbe Prüfer bei Wiederholungsmessungen unter sonst gleichen Randbedingungen ein weitgehend gleiches Ergebnis erzielt. Mit anderen Worten ist der zufällige Fehler so weit wie möglich zu reduzieren. Eindeutig begründbare Entscheidungen können nur getroffen werden, wenn als dritte Forderung das Ergebnis der Geruchserhebung mit Zahl und Maß belegbar und damit entscheidungsrelevant ist.

Als letzte Forderung ist schließlich zu verlangen, dass die angewendete Methode mit Bezug auf die der Entscheidung zugrunde liegende Fragestellung von Belang bzw. mit anderen Worten sachgerecht ist. Es muss auch an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass zur Erfüllung des Gebots der Gleichbehandlung nicht alle Methoden sich streng naturwissenschaftlich begründen lassen, sondern dass in vielen Fällen Konventionen unumgänglich sind.

Mit den beiden vorhergehenden Beiträgen Thumulla (2010) und Santen (2010) wurde umfangreiches Datenmaterial aus Geruchsprüfungen veröffentlicht, dass exemplarische statistische Fehlerbetrachtungen von Geruchsprüfungen erlaubt. Beide Projekte sind für eine Betrachtung besonders geeignet, weil in beiden Fällen multifaktorelle Ursachen für die Geruchsprobleme im Gebäude vorhanden waren und sich die Art der Gerüche und deren Intensität in den einzelnen Räumen signifikant voneinander unterschieden.

Tabelle 1: Übersicht über die ausgewerteten Projekte

	Projekt 1 Neubau, Bürogebäude	Projekt 22 Renovierung Altbau
Literatur	Thumulla (2010)	Santen (2010)
Zahl der Räume	48	87
Geruchsproblem	multifaktorell	multifaktorell
Anzahl der Prüfer	5 / 3	4
	trainiert / untrainiert	trainiert
Zahl der Messwerte	240 / 144	348
Untersuchungszeitraum	1 Tag	3 Tage

Umgang mit Gebäudealtlasten bei der Umnutzung von Gebäuden

Peter Braun

Seit den 70er Jahren werden in vielen Städten Fabriken, Lagerhallen und Gewerbehöfen, die im Zuge der Industrialisierung im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts entstanden, zu Wohn- und Bürozwecken umgenutzt. Seit Ende der 1980er Jahre verläuft dieser Prozess vor allem im Osten Deutschlands besonders dynamisch. Durch Deindustrialisierung und Standortverlagerungen aus den Innenstädten in die Peripherie entstand in vielen Gewerbegeschossbauten Leerstand. Die in Raumaufteilung und Bausubstanz weitgehend unveränderten großen und hellen Räumen wurden zunächst oft von Freiberuflern und Künstlern genutzt, die darin bei vergleichsweise geringen Mieten wohnten und arbeiteten. Heute sind Loftwohnungen nicht mehr improvisierte Wohnungen, sondern entstehen durch aufwändige Renovierung und Modernisierung alter Industrie-, Gewerbe- und Lagergebäude und werden damit zu teuren Wohnungen auf dem Immobilienmarkt. Mittlerweile gehören Loftwohnungen in umgebauten Fabriketagen zum Standardangebot von Immobilienanzeigen und einschlägigen Internetportalen. Dort wird z.B. vom „New Yorker Loft-Ambiente mitten in Berlin“ geschwärmt, „außergewöhnliche, lichtdurchflutete Loft-Grundrisse“, „große Fenster und hohe Räume“ trügen zum „absoluten Wohlgefühl“ bei, wird behauptet.

Loft-Ambiente mit Altlasten

Dem Wohlgefühl eher abträglich sind hingegen manche Hinterlassenschaften der Vornutzer ehemals gewerblich genutzter Gebäude. In vielen kleineren oder größeren Betrieben wurde dort jahrzehntelang mehr oder weniger sorgfältig mit gefährlichen Arbeitsstoffen hantiert, was zu teilweise gravierenden Schadstoffkontaminationen der Bausubstanz führte. Öffentlich bekannt wurde z.B. die Quecksilberbelastung in Häusern der fränkischen Stadt Fürth, einem ehemaligen Zentrum der Spiegelproduktion. Bis Ende des 19. Jahrhunderts wurden dort für die Spiegelherstellung in über 250 Manufakturen jährlich bis zu 70 Tonnen elementares Quecksilber verarbeitet¹. Die Produktionsstätten wurden dabei teilweise so massiv mit Quecksilber verunreinigt, dass noch Anfang der 1990er Jahre das flüssige Metall aus Wänden und Decken mancher der mittlerweile größtenteils zu Wohnzwecken genutzten Häuser tropfte. Eine Sanierung war in den meisten Fällen nur durch vollständige Entkernung der betroffenen Gebäude möglich.

Ein anderes Beispiel ist der Gebäudekomplex des Berliner Gründerinnenzentrums „WeiberWirtschaft“, in dem bis 1990 u.a. Chemie- und Kosmetikprodukte hergestellt und gelagert wurden. Im Rahmen der Umbau- und Sanierungsmaßnahmen in den Jahren 1993 – 1996 wurden aus der Vornutzung und alten Teerpappeisolierungen herrührende Gebäudealtlasten nicht berücksichtigt. Erst mehrere Jahre nach Abschluss der Baumaßnahmen wurden aufgrund massiver Klagen der Mieterinnen über üble Gerüche entsprechende Untersuchungen durchgeführt. Das Ergebnis: rund 40 Prozent der Gesamtfläche des Gewerbebezentrums von 7000 m² waren mit einem Sammelsurium von flüchtigen organischen Verbindungen, u.a. krebserzeugendem Naphthalin, kontaminiert und mussten saniert werden². Viele Mieterinnen zogen aufgrund der Schadstofffunde aus.

¹ DER SPIEGEL 49/1992

² Plieninger, Peter (2004): Naphthalin - der Stoff der aus dem Boden kommt. Ermittlungen der Ursachen für die Geruchsbelastung in den Innenräumen nach der Sanierung eines Gewerbe-

Erfahrungen mit PAK-Belastungen durch Homogenasphaltplatten

**Jörg Mertens, Michael Köhler, Jutta Mehnert,
Norbert Weis**

Zusammenfassung

Homogenasphaltplatten wurden bis in die 1990er Jahre hin in Gebäuden eingesetzt. In den letzten Jahren sind durch eine Zunahme geplanter Sanierungsmaßnahmen insbesondere von Schulen, welche unter anderem durch das Konjunkturpaket II der Bundesregierung gefördert wurden, vermehrt Fälle von erhöhten PAK-Raumluftbelastungen durch Homogenasphaltplatten aufgefallen. Dabei zeigten sich, deutlich höhere Raumluftbelastungen als durch frühere Studien beschrieben. Die Summenbelastungen der 16 PAK nach EPA lagen dabei in einer Größenordnung von 5.200 ng/m³ bis 52.000 ng/m³. Es wird als wesentliche Ursache angenommen, dass die bessere Erfassung ausschließlich in der Gasphase befindlicher PAK, die in den früheren Studien nicht im gleichen Umfang erfolgte, hierfür verantwortlich ist. Weitere nicht auszuschließende Einflussfaktoren auf die Belastungshöhe sind auch Veränderung der Bodenbeschaffenheit durch Alterung, mechanische oder chemische Schädigung. Die aufgetretenen Belastungssituationen boten den Anlass für eine statistische Aufarbeitung der ermittelten, aktuellen Raumluftkonzentrationen durch Homogenasphaltplatten unter Berücksichtigung aktueller Bewertungsschemata.

Zusätzlich wurden die im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen ermittelten die Sekundärbelastungen von anderen Materialien betrachtet. Hier zeigten sich im Mittel zum Teil deutlich Unterschiede, von geringen Belastungen im Putz von Wänden und Decken über deutliche Belastungen in textilen Bezügen beispielsweise von Stühlen bis hin zu hohen Belastungen in Farben und Lacken.

1. Einleitung

Asphalt-Fußbodenplatten wurden in Räumen eingesetzt, in denen druck- und stoßfeste, teilweise auch ölfeste Bodeneigenschaften benötigt wurden. Dies ist unter anderem in Montage-, Lager- und Produktionshallen, in Messe-, Paket- und Markthallen und in Werkstätten, die sich unter anderem auch als Lehrräume in Schulen befinden, sowie z.T. in militärisch genutzten Räumen wie Waffenkammern der Fall gewesen. Eher seltener wurden sie in privat genutzten Gebäuden eingesetzt.

Die Fußbodenplatten werden in erwärmten Zustand unter sehr hohem Druck gepresst und bestehen zu etwa 90% aus Naturasphalt-Rohmehl und zu etwa 10 % aus Bindemittel, von denen Bitumen bei den Hochdruck-Asphaltplatten und Steinkohlenteerweichpech bei den Homogenasphaltplatten zum Einsatz kamen. Das letztgenannte Bindemittel beinhaltet eine hohe Materialkonzentration an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), so dass in den Homogenasphaltplatten etwa ein PAK-Anteil von 1,6 Gewichtsprozent (ca. 16.000 mg/kg) zu finden ist [1,7,15].

Eine von wenigen Studien zu PAK-Raumluftkonzentrationen durch Homogenasphaltplatten wurde 1990 durch das Institut für Hygiene der Freien Universität Berlin veröffentlicht. Luther et. al. verglichen damals unter anderem die Schwebstaubbelastung der Raumluft aus drei Räumen mit Homogenasphaltplatten mit derjenigen der Außenluft, wobei die über bis zu fünf Messungen in einem Raum gemittelte PAK-Gesamt-

Energetische Sanierung unter Berücksichtigung von Schadstoffen wie PCB – Vorhaben im Rahmen des Konjunkturpakets

Matthias Friedel

Ausgangssituation

Mittel des Konjunkturpakets sollen zur energetischen Sanierung eines größeren Schulgebäudes genutzt werden, insbesondere für die Wärmedämmung der Fassaden und die Erneuerung der Fensteranlagen. Bereits im Vorfeld bekannt ist eine PCB-Belastung von Fugenmaterialien mit geringer Sekundärkontamination von Wandflächen. Die Raumluftwerte liegen teilweise über dem Vorsorgewert der PCB-Richtlinie NRW, erfordern aber kein sofortiges Eingreifen.

Die energetische Sanierung bedingt jedoch die Durchführung der PCB-Sanierung, weil das Fugenmaterial danach nicht mehr zugänglich und zudem eine erhebliche Zunahme der PCB-Raumluftkonzentrationen nach Einbau dichter Fensteranlagen zu erwarten ist. Im Zuge der Sanierung erfolgt auch der Austausch belasteter Fugenmassen im Innenraum, die teils bereits bekannt waren, teils bei Voruntersuchungen zur Sanierung neu gefunden wurden.

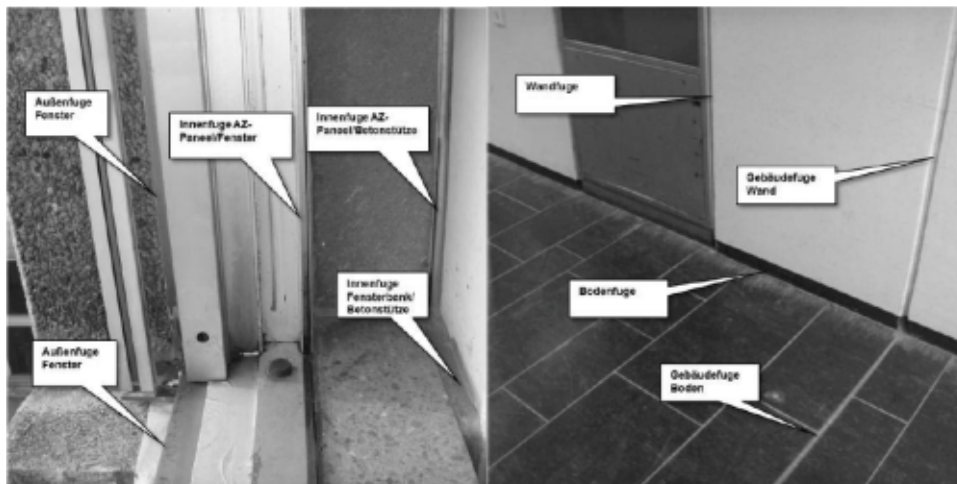


Abb. 1: Beispiele für Fugenmassen an Fensteranlagen und zwischen Bauteilen

Probesanierung und Sanierungsplanung

Mit der Probesanierung eines ausgewählten Raumes soll die Wirksamkeit der geplanten Maßnahmen nachgewiesen werden. Konkret sind folgende Schritte auszuführen:

- Bestandsaufnahme der Ist-Situation
- Errichtung eines Gerüsts an der Fassade
- Aufbau des Foliencontainments mit Zugang von außen
- Einrichtung einer Lüftungsanlage
- Ausbau der Fenster
- Entfernung von Fugenmaterialien und Kieselputz

Risikokommunikation und Kommunikationsstrukturen bei Schadstoffbelastungen in Gebäuden der Stadt Nürnberg

Bernd Tilgner

In der Vergangenheit war die Stadt Nürnberg immer wieder in den Schlagzeilen der Medien. Von der inzwischen allseits bekannten „PCB-Schule“ Georg-Ledebour-Straße über das „Krebs-Rathaus“ (Sozial-Rathaus), mit Naphthalinfunden in einigen Büroräumen, bis hin zu „kleineren Schadstoffskandalen“ wie Mineralfaser in Turnhallen und Klassenräumen oder auch Schimmel im Keller.

Um künftigen Negativ-Schlagzeilen entgegen zu wirken wurden bereits im Jahr 2003 durch die Arbeitsgruppe **bug** Kommunikationsstrategien für den Fall von Schadstoffbefunden in städtischen Gebäuden entwickelt. Diese Strategien haben sich vor allem mit dem Informationsfluss beschäftigt. Es wurden hiermit also die Informationswege innerhalb der Stadt Nürnberg zwischen Fachdienststellen, Referaten, Bürgermeistern und den Gebäudebenutzern definiert. Damit konnten zwar einige negative Schlagzeilen abgewendet werden, für die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe bug war dies aber noch nicht der Weisheit letzter Schluss. Die Medien sollten nicht den Blickwinkel bestimmen sondern das Augenmerk sollte in erster Linie den Betroffenen gelten. Man sollte sie trotzdem nicht außer Acht lassen, da sie einen starken Einfluss nehmen können.

Die Risikokommunikation ist ein nicht zu unterschätzender Faktor im täglichen Umgang mit Innenraumproblemen. Eine Ausbildung in Kommunikationstechniken gehört aber leider genauso wenig zur Ausbildung von Architekten, Chemikern und Umweltmedizinern, wie die Vermittlung von Grundlagen zur Risikokommunikation.

Auf Grund des hier erkannten Defizites hat sich die Arbeitsgruppe unter fach- und sachkundiger Führung eines versierten Mediators intensiv mit dem Thema Risikokommunikation beschäftigt. Das Ergebnis war eine sechstägige Schulung, durch den Mediator, aufgeteilt in drei Blöcke, die aufgelockert durch Gruppenarbeiten und Rollenspiele waren.

Der erste Block beschäftigte sich mit Leitbildern, Leitlinien und Szenarien zur Risikokommunikation.

Eingangs stand die Beschäftigung mit den Themen:

- Wozu Risikokommunikation?
- Funktionen der Risikokommunikation.
- Risikokommunikation im Umfeld unterschiedlicher Akteure.
- Prinzipielle Anforderungen an Risikokommunikation.
- Notwendigkeit der Beteiligung.

Im Fortgang stand die Risikokommunikation in unterschiedlichen Szenarien im Brennpunkt. Den Abschluss des ersten Blocks stellten die Instrumente der Kommunikation und Konfliktaustragung dar.

In diesem Abschnitt wurde zunächst festgestellt, dass die gezielte, offene Kommunikation nicht erst nach dem Auffinden von Schadstoffen beginnen sollte, sondern schon vor den ersten Messungen begonnen werden muss.

Sekundärkontaminationen mit SVOC (PAK, PCN, PCB) in Büchern belasteter Bibliotheken

Norbert Weis, Michael Köhler, Jörg Mertens

Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung beschreibt die Erfahrung des Bremer Umweltinstituts im Hinblick auf Sekundärbelastungen von Büchern aus Bibliotheken, die aufgrund PCB-, PAK- und PCN-haltiger Baumaterialien erhöhte Raumlufthbelastung mit diesen SVOC aufweisen. In drei belasteten Bibliotheken wurden jeweils 12 Bücher untersucht. Die höchste Kontamination wird für PAK mit 350 mg/kg, für PCN mit 28 mg/kg und für PCB mit 120 mg/kg ermittelt. Stichproben aus anderen Objekten bestätigen die Sekundärkontamination von Büchern und Aktenordnern in entsprechend belasteten Räumen.

Auf Basis der Untersuchungen und vorbeugender Überlegungen werden Prüfwerte zur Bewertung von über die Raumlufth kontaminierten verbrauchernahen Produkten mit den untersuchten SVOC – hier insbesondere der Bücher – sowie ein pragmatisches Schema zur bedarfsgerechten Sanierung der Belastungen in SVOC-kontaminierten Büchern vorgeschlagen.

Einleitung

Die Ausbildung von Sekundärkontamination mit SVOC (semivolatile organic compounds) ist ein bekanntes Phänomen aus dem Bereich der Schadstoffsanierung von Gebäuden (Pluschke 1996; Zwiener 1997; Müller et al. 1999; Weis et al. 2003). Hierbei kommt es durch Ausgasung der SVOC aus den primär belasteten Baumaterialien (die SVOC zweckbestimmt enthielten) zu einer Raumlufthbelastung und in der Regel auch zu einer Anlagerung an Stäube. Zunächst nicht belastete Materialien bzw. Oberflächen nehmen über viele Jahre hinweg die SVOC aus der Raumlufth oder darauf sich ablagernden Stäuben auf, reichern sie an und bilden sich zu sog. Sekundärquellen aus. Daneben bilden natürlich auch Materialien, die in direktem Kontakt mit Primärquellen stehen, solche sekundären Kontaminationen aus.

Sekundärquellen weisen zwar i.A. sehr viel geringere Konzentration auf (im Bereich mg/kg) als die Primärquellen (im Bereich g/kg), dafür ist die betroffene Fläche jedoch sehr viel größer als die der Primärquelle.

Beispielsweise kann es in hoch PCB-belasteten Gebäuden zu so relevanten Kontaminationseffekten kommen, dass bei einer Sanierung die lediglich auf die Entfernung der Primärquellen ausgerichtet ist, der vorgegebene Zielwert nicht erreicht werden kann.

Neben der Zeitdauer der Exposition ist die Oberflächenbeschaffenheit entscheidend für die Aufnahmefähigkeit eines Materials.

Inerte Oberflächen wie z.B. Glas oder Fliesen reichern keine Substanzen aus der Raumlufth an. Rückstände von SVOC findet man allenfalls nur direkt als niedergeschlagene Stäube ggf. mit Schmutz als fettige Beläge auf diesen Oberflächen, da die SVOC nicht in das Material eindringen können. Festgestellt werden diese Anhaftungen z.B. nach einem Schädlingsbekämpfungseinsatz. Eine Dekontaminierung gelingt durch Abwischen der Oberfläche mit geeigneten Lösemitteln (Freudenthal 2004).

Je lipophiler ein Material ist, desto besser kann es Substanzen mit ebenfalls lipophilem Charakter aus der Raumlufth oder aufliegenden Stäuben aufnehmen. Poröse Materialien

Beurteilung von mikrobiell befallenen Materialien aus der Trittschalldämmung

Nicole Richardson

1. Einleitung

Die Bewertung von Schadensfällen hinsichtlich einer mikrobiologisch relevanten Belastung stellt Sachverständige in der Praxis immer wieder vor große Herausforderungen. Die alleinige Betrachtung von Laboranalysen hat sich in der Praxis nicht bewährt. Neben dem mikrobiologischen Fachwissen sind für eine Bewertung ebenso bautechnische und bauphysikalische Kenntnisse notwendig. Diese Kombination an Wissen ist über Erfahrungen erlernbar, da eine Ausbildung in diesem Kombinations-Bereich nicht existiert.

Nachfolgend aufgeführt sind notwendige Probenahme-Voraussetzungen, um Proben bewerten zu können, eine Darstellung der in der Praxis bewährten Probenahmeverfahren und deren möglichen Aussagen, angewandte Bewertungsgrundlagen und Kriterien für die Entscheidung, ob eine Trittschalldämmung nach einem Wasserschaden zu entfernen ist.

2. Methoden und Bewertung

Die Entnahme von Proben der Trittschalldämmung umfasst folgende Schritte:

- Ortsbegehung mit Erfassung sichtbarer Schimmelpilz- oder Feuchteschäden, ggf. Aufnahme von Schadensereignissen,
- Auswahl geeigneter und exemplarischer Entnahmestellen, ggf. auch Referenzproben außerhalb vermuteter Schadensbereiche,
- Öffnung des Fußbodens in ausreichender Größe und Entnahme der Materialproben,
- Verpackung der Proben in Aluminiumfolie / verschließbare Plastikbeutel,
- Dokumentation der Probenahmeorte mit Zustand und Zeitpunkt der Beprobung, ggf. weitere Randbedingungen,
- Vermerk aller Auffälligkeiten und Besonderheiten.

Zur Erkennung von mikrobiellem Befall mittels Laborverfahren haben sich zwei Methoden etabliert:

- Suspensionsmethode: Verdünnung und Kultivierung mit anschließender Auszählung koloniebildender Einheiten – quantitative Methode
- Mikroskopie mit direkter visueller Bestimmung von Dichte und Art des Befalls – halbquantitative Methode

Bei der Verdünnungsmethode erfolgt die Bewertung der gefundenen Sporenkonzentration i.d.R. anhand der laboreigenen Statistik. Dabei werden die Ergebnisse einer Vielzahl möglichst repräsentativer Materialproben des Labors berücksichtigt. Mit Hilfe statistischer Rechenverfahren werden aus diesen Daten Konzentrationen ermittelt, deren Überschreitung eine Auffälligkeit vom „Normalen“ darstellt. Eine Gesundheitsgefährdung ist damit nicht ableitbar.

Zielkonflikt Raumlufthygiene versus energiesparendes Bauen

Martin Wesselmann

Im Folgenden wird über einen Schadensfall berichtet, der nach Auffassung des Autors als exemplarisch hinsichtlich Feuchte- und Schimmelpilzbildungen in neu gedämmten Wohngebäuden anzusehen ist. Es zeigt an einem Fallbeispiel, dass es durch eine deutliche Verringerung der natürlichen Lüftungsrate nach einer energetischen Aufwertung einer älteren Gebäudesubstanz nahezu zwangsläufig zu hygienischen Problemen in dem Innenraum kommen muss, wenn keine zusätzlichen Zwangsbelüftungsvorrichtungen eingebaut werden.

Es handelt sich um eine Blockbebauung fünfgeschossiger Wohngebäude in Hamburg Barmbek, die in den 1950er und 1960er Jahren insbesondere in den kriegszerstörten Gebieten in großer Zahl errichtet wurden. Sowohl die Bausubstanz (einschalige 24er - max. 36er Ziegelmauerwerke ohne Luftschichten) als auch die Wohnungsgrößen und dessen Zuschnitte der alten, meist ca. 50 m² kleinen Wohnungen entsprechen für heutige Wohnbedürfnisse nicht mehr dem gewünschten Standard. Im vorliegenden Fall hat eine städtische Wohnungsgesellschaft eine vollständige Entkernung und Modernisierung der Gebäude vorgenommen. Wohnungen wurden zum Teil zusammengelegt, partiell Maisonettewohnungen errichtet und insbesondere an junge Familien vermietet. Gemäß aktueller Energiesparverordnungen sind die Gebäudefassaden mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen worden mit einem obligatorischen Einbau hoch gedämmter Fenster- und Türsysteme zum Zwecke des verbesserten Schall- und Wärmeschutzes.



Abbildung 1: Frontansicht Gebäude

Praxisbeispiel zur Schimmelpilzprävention durch Erhöhung des Grundluftwechsels

Uwe Münzenberg

Problemstellung

Bei dem Gebäude handelt es sich um ein ehemaliges Werksgebäude, welches als Loftwohnung über vier Etagen umgebaut wurde. Ein Austausch der alten Fenster führte in einer vermieteten Wohnung zu typischem Schimmelpilzbefall an den Vollziegel-Außenwänden mit ungenügendem Wärmeschutz.



Abb 1: Gebäudeansicht

Nachdem der Schimmelpilzbefall als solcher entfernt wurde, sollten praktikable Lösungen erarbeitet werden, um einem erneuten Schimmelpilzbefall in den vermieteten Räumen präventiv vorzubeugen.

Maßgebliche Ursache für den Schimmelpilzbefall sind hygrothermische Feuchtigkeitseffekte¹. Um diese in Zukunft zu vermeiden, stehen zwei prinzipielle Lösungsansätze zur Verfügung: Erhöhung der Oberflächentemperatur und/oder eine Reduzierung der Raumluftfeuchte. Da das Gebäude erst vor kurzem renoviert wurde, gab es keinen Etat mehr für eine fachgerechte Außen- bzw. Innendämmung.

Verbleibt als Lösungsstrategie eine Verringerung der Raumluftfeuchte. Die Messung des Luftwechsels² gemäß VDI 4300 Blatt 7 ergab einen relativ geringen Luftwechsel von maximal 0,1 /h.

¹ Abkühlung warmer Raumluft an kühleren Wandoberflächen mit dem damit verbundenen Anstieg von Feuchtigkeit auf der Wandoberfläche.

² Die Bestimmung des Luftwechsels wurde gemäß VDI 4300 Blatt 7 mit CO₂ als Tracer gas durchgeführt (akkreditiertes Verfahren). Hierzu wurde nach einer zusätzlichen Injektion von CO₂ die Raumluft mit einem Gebläse homogenisiert. Die Räumlichkeiten wurden während dieser Zeit nicht genutzt. Die Messdaten wurden minütlich erfasst. Das Gebläse lief über die gesamte Zeit, in der die Abklingkurve mittels einem CO₂ Messgerät mit Datenloggerfunktion aufgezeichnet wurde.

Eingesetztes Messsystem: TSI IAQ CALC Modell 7535, Sensortyp NDIR (Nichtdispersive-IR-Absorption), Messbereich 0 bis 5.000 ppm, Genauigkeit $\pm 3,0\%$ des Messwertes oder ± 50 ppm, Auflösung 1 ppm, Ansprechzeit 20 Sekunden

Schadstoffsanierung durch technische Lüftung – Schadstoffprobleme bei energetischer Sanierung ohne technische Lüftung

Jörg Thumulla

Das Problem der Zunahme von Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluft im Zusammenhang mit der zur Energieeinsparung und zur Vermeidung von Bauschäden erforderlichen, immer dichteren Bauweise und der damit verbundenen Abnahme des natürlichen Luftwechsels wird seit vielen Jahren diskutiert. Dennoch wird dem hygienisch notwendigen Grundluftwechsel bei Neubauten oder energetischen Sanierung bisher kaum Beachtung geschenkt. Nutzer und kommunale Entscheider verwechseln Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung nach wie vor mit herkömmlichen Klimaanlage, bei denen insbesondere der Umluftbetrieb Schadstoffe im Gebäude nur verteilt hat. Im folgenden sollen exemplarisch zwei Projekte vorgestellt werden, das erste, bei dem die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ein Problem gelöst hat, das zweite, bei dem die Nutzer den Einbau einer Lüftungsanlage im Rahmen der energetischen Sanierung bekämpfen und damit im Begriff sind, ein relevantes Schadstoffproblem zu verursachen. Da beide Projekte kommunalpolitisch brisant sind, können sie leider nur anonymisiert vorgestellt werden.

Beispiel I: Schadstoffsanierung in einem Schulpavillon durch den Einbau einer Lüftungsanlage

In einer württembergischen Kleinstadt wurde zur Entschärfung der Raumsituation an einer Realschule ein Ergänzungsbau als Pavillon in Holzrahmenbauweise mit vier Klassenzimmern durch einen Generalunternehmer erstellt.



Abbildung 1: Schulpavillon

Carbonsäuren als Indikator für Feuchteschäden – ein Fallbeispiel –

Ulrike Hoffmann, Jörg Thumulla

Einleitung

Häufig kommt es vor, dass in Häusern mit Holzständerkonstruktion eintretende Nässe zu versteckten Schimmelpilzschäden und zum Holzabbau in der Konstruktion führt. Oftmals geben erst Geruchsbeschwerden oder Raumluftuntersuchungen auf MVOC (Microbial Volatile Organic Compounds oder deutsch: mikrobielle flüchtige organische Substanzen), die wegen gesundheitlicher Beschwerden beauftragt werden, Hinweise auf diese versteckten Schäden.

In der letzten Zeit wurde der Untersuchung von Carbonsäuren in der Raumluft mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Hierbei zeigte sich, dass bei Carbonsäuregehalten in der Raumluft deutlich oberhalb von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ häufig versteckte Feuchtigkeitsschäden im Zusammenhang mit mikrobiellen Holzabbau zu finden waren. Im folgenden sollen exemplarisch Untersuchungen gezeigt werden, in denen über vergleichende Untersuchungen der Raumluft und der Luft aus Bauteilhohlräumen versteckte Feuchteschäden lokalisiert wurden.

Hintergrund

In einem denkmalgeschützten historischen Gebäude klagten die Nutzer seit der Generalsanierung über Geruchsbeschwerden und Gesundheitsprobleme. Über geruchssensorische Untersuchungen unter Einsatz von Differenzdrücken mittels Blower-Door-Gebläse wurde eine erste Quelle für typischen Schimmelpilzgeruch gefunden. Nach einer Bauteilöffnung stellte sich heraus, dass der Deckenaufbau der historischen Balkenbohlendecke durchfeuchtet und deutliche Holzerstörung aber auch Schimmelpilzwachstum erkennbar waren (siehe Abb.). Als Ursache stellte sich ein Defekt an einem fehlerhafter Heizungsverteiler heraus. Nach einer weiteren Öffnung des Bodens im betroffenen Raum war ersichtlich, dass aus allen Verteilern mehr oder weniger geringe Mengen an Feuchtigkeit ausgetreten waren, was in unterschiedlichem Ausmaß mit Holzerstörung und Schimmelpilzwachstum verbunden war. Insgesamt waren an den defekten Verteilern nur relativ geringe Wassermengen ausgetreten, so dass vermutet wird, dass Feuchtigkeitsaustritte nur bei bestimmten Betriebszuständen der Heizanlage (z.B. Lastwechsel) erfolgten.

Nachdem aufgrund der Höhe des Deckenaufbaus und der Lage der Heizungsverrohrung zwischen zwei Sperrschichten und der relativ geringen Feuchtigkeitsmengen eine Ortung weiterer defekter Installationsstücke mittels Feuchtemesstechnik nicht möglich war, sollten alternative Methoden eingesetzt werden, um Hinweise auf einen weiteren Feuchtigkeitsaustritt im Gebäude zu erhalten, weil großflächige Bodenöffnungen an allen Verteilern des Gebäudes zu kostenintensiv gewesen wären und die Nutzung des Gebäudes zu stark eingeschränkt hätten.

Aufgabenstellung war es dementsprechend ein Verfahren zur Ortung von Feuchtenestern anzuwenden, dass den Betrieb des Gebäudes nicht einschränkt und keine relevanten Schäden an der Gebäudesubstanz verursacht.

Einsatz von Desinfektionsmitteln bei der Schimmelpilzsanierung aus Sicht der Innenraumhygiene

Wolfgang Lorenz

1. Was ist Desinfektion?

inficere, inficio, infeci, infectum [Lat.]: färben, beflecken, hineintun, anstecken

Die Erkenntnis, dass man mittels chemischer Substanzen eine Infektion verhindern kann, geht nicht auf Robert Koch, Louis Pasteur oder einem anderen berühmten Mediziner zurück, der sich im Bereich der Infektionsmedizin einen großen Namen machte, sondern auf einen Arzt, der gewisse Zusammenhänge zwischen Erkrankungen und einem bestimmten Verhaltensmuster im Klinikalltag erkannte und, ohne genau zu wissen was dahinter steckt, konsequent seine Erkenntnisse in Regeln umsetzte oder umzusetzen versuchte.

Der 1818 in Ungarn geborene Ignaz Philipp Semmelweis beobachtete, dass bei Geburten, die von Ärzten begleitet wurden, die Sterblichkeit durch Kindbettfieber erheblich höher lag als nach Geburten, die von Hebammen begleitet wurden.

Hygiene war damals noch kein Begriff und so wuschen die Ärzte nicht mal ihre Hände, selbst dann wenn sie von einer Leichenschau zur Geburtshilfe eilten, was bei Hebammen eben nicht vorkam.

Semmelweis schrieb aufgrund seiner Beobachtung den Studenten vor, sich die Hände und die Instrumente vor jeder Untersuchung mit Chlorkalk zu „desinfizieren“ und die Sterblichkeitsrate der Mütter im Wochenbett ging von mehr als 12 % auf fast 1 % zurück.

Die Empfehlungen von Semmelweis wurden trotz der messbaren Erfolge bis zu seinem Tod im Jahre 1865 von etlichen seiner Kollegen als „Unfug“ abgelehnt, u.a. da man meinte, dass Hygiene eine unnötige Zeitverschwendung sei. Ein allgemein sehr bekannter Gegner der Hygienevorschriften von Semmelweis war Rudolf Virchow. Seine Ablehnung der „Desinfektion“ nach Semmelweis hat im 19. Jahrhundert mit Sicherheit die allgemeine Einführung extrem verzögert und Tausenden von Müttern das Leben gekostet.

Die zweite Anwendung einer Desinfektion ist auf den schottischen Arzt Joseph Lister (1827-1912) zurückzuführen, der 1867 Karbol (= Phenol) als Desinfektionsmittel in der Chirurgie einführte und hierdurch die Sterblichkeitsrate nach Operationen drastisch reduzieren konnte.

Die Desinfektion wurde somit eingesetzt, um die Gefahr einer Infektion zu beseitigen, was das Wort Desinfektion schon beinhaltet. Die Desinfektion ist somit eine präventive Maßnahme, die heute in allen Bereichen zum medizinischen Standard gehört.

Im Bereich der medizinischen Hygiene unterscheidet man dabei zwischen der Desinfektion und der Sterilisation.

Nach Pschyrembel bedeutet Desinfektion: *Maßnahme, die durch Abtötung, Reduzierung, Inaktivierung bzw. Entfernung von pathogenen Mikroorganismen (Bakterien, Viren, Pilze, Protozoen) ein Material in einen nichtinfektiösen Zustand versetzt.*

Folgen der Anwendung chlorhaltiger Desinfektionsmittel am Beispiel der Badewasserdeseinfektion

Lothar Erdinger

In Schwimmbädern, die mit Chlor oder chlorabspaltenden Produkten desinfiziert werden, sind sog. „Desinfektionsnebenprodukte“ (DNP) nachweisbar. Hierunter versteht man die Reaktionsprodukte, die sich aus unbeabsichtigten Reaktionen zwischen Chlor und Kontaminationen des Wassers ergeben. Dabei stellt Chloroform den größten Anteil an der Gesamtheit dieser Verbindungen. In nennenswerten Mengen kann ebenfalls Bromdichlormethan nachgewiesen werden. Aus der Gruppe der halogenierten Acetonitrile ist z.B. auch Dichloracetonitril nachweisbar.

Dibromacetonitril ist in vergleichsweise hohen Konzentrationen von bis zu 50 µg/l im Beckenwasser nachweisbar. In sehr vielen Schwimmbecken kann Chlorpikrin nachgewiesen werden, dem eine starke Reizwirkung zugeschrieben wird. In Freibädern konnten bis zu 10 µg/l Chlorpikrin gefunden werden. Über die Entstehungsmechanismen von Chlorpikrin und den halogenierten Acetonitrilen ist bisher nur wenig bekannt. Bei den meisten dieser Verbindungen handelt es sich um flüchtige Stoffe, die hauptsächlich über die Atmung von den Badegästen aufgenommen werden können.

Beim Betrieb der Schwimmbäder nach den Richtlinien der DIN 19643 können die Grenzwerte für THM in der Regel eingehalten werden. Bei unseren Routine-untersuchungen lagen mehr als 75 % der Messwerte für Chloroform, als Hauptbestandteil der THM, unter dem von der DIN vorgegebenen Richtwert von 20 µg/l. Ausnahmen bilden u. a. Freibäder bei Belastungsspitzen an besucherstarken Tagen im Hochsommer oder bei ungünstiger Beckenhydraulik.

Es konnte kein Zusammenhang zwischen der verwendeten Aufbereitungstechnik und den DNP-Konzentrationen ermittelt werden. In der Regel weisen Hallenbäder in denen die Aufbereitungstechnik auf einem neueren Stand ist, eine geringere Konzentration an DNP auf. Die Betrachtung der Summe der halogenierten Verbindungen (AOX-Konzentrationen) in verschiedenen Schwimmbädern ergibt ein ähnliches Bild wie bei den DNP.

Ein dauerhaftes Überschreiten der Richtwerte der DIN 19643, insbesondere für THMs, deutet auf eine nicht mehr zeitgemäße Aufbereitungstechnik oder einem nicht DIN-gemäßen Betrieb der Anlage hin.

Bei Betrachtung der Schwimmbeckenwasserqualität über längere Zeiträume (Tagesprofile, Saisonprofile) zeigt sich, dass Chloroform als Hauptvertreter der DNP nicht immer der geeignete Parameter zur Darstellung von Belastungsspitzen ist. Hier zeigt sich, dass die AOX-Konzentration geeigneter ist, unterschiedliche Belastungssituationen (Besucherzahlen) besser abzubilden. In den untersuchten Freibädern könnte dies in der Tatsache begründet sein, dass das flüchtige Chloroform ein Gleichgewicht zwischen Neubildung und Austrag erreicht, während die Verbindungen, die im AOX subsummiert sind, schwerer flüchtig sind und sich im Beckenwasser anreichern. Ein Großteil (> 50 %) der im AOX erfassten halogenierten Verbindungen sind noch unbekannt.

Die Konzentrationen für die im Parameter „gebundenes Chlor“ zusammengefassten Chloramine liegen in ordnungsgemäß geführten Bädern unter dem Richtwert der DIN von 0,2 mg/l. Im europäischen Vergleich ist dieser Wert besonders niedrig was darauf

Quartäre Ammoniumverbindungen (QAV), Möglichkeiten der Analytik und Fallbeispiele

Carmen Kroczeck, Jörg Thumulla

Problemstellung

Der Stand der Technik bei der Schimmelpilzsanierung ist dabei durch die Sanierungsleitfäden des Bundesumweltamtes¹ und die Arbeitsgruppe am Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg² definiert.

Das Umweltbundesamt rät in seinem Schimmelpilzsanierungsleitfaden (S. 33) grundsätzlich vom Einsatz von Bioziden im Zusammenhang mit Schimmelpilzsanierungen ab, weil es während und nach der Anwendung zu einer Freisetzung von chemischen Wirkstoffen in die Raumluft kommt, die die Gesundheit der Raumnutzer gefährden können. Auf S. 38 wird präzisiert: Insbesondere, *„wenn der Schimmelpilzbefall vollständig entfernt und durch fachgerechten Wiederaufbau eine erneute Feuchtebildung ausgeschlossen ist, ist eine Desinfektion nicht erforderlich“*, ...

„Neben der Gefährdung des Sanierungspersonals ist die Gefährdung der Raumnutzer während und nach der Sanierung und die Vermeidung einer Kontamination des Objektes und der Umwelt zu beachten. Dabei ist zu bedenken, dass neben der mikrobiologischen Belastung durch Schimmelpilze und möglicherweise durch Bakterien gegebenenfalls bei Anwendung von Desinfektionsmitteln oder anderen Chemikalien auch eine Belastung gegenüber chemischen Arbeitsstoffen oder Gefahrstoffen und Staub auftreten kann.“

Die Handlungsempfehlung des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg schreibt hierzu : *„Bei der Verwendung von Fungiziden ist zu bedenken, dass diese in der Praxis oft unwirksam sind und die Ursache für erneute gesundheitliche Belastungen der Nutzer sein können.“* (S. 30).

Häufig wird deswegen im Rahmen der Schadensregulierung von Seiten der Gutachter, sofern eine Desinfektion für erforderlich gehalten wird, der Einsatz rückstandsfreier Desinfektionsmittel wie Isopropanol oder Wasserstoffperoxyd gefordert und als Grundlage für die Auftragsvergabe an Sanierungsunternehmen gemacht. Nicht selten werden jedoch trotz dieser Vorgaben bzw. der eindeutigen Hinweise aus dem Sanierungsleitfaden des Umweltbundesamtes anschließend im Rahmen der Sanierung fungizidhaltige Desinfektionsmittel eingesetzt, die zu persistenten Rückständen auf den behandelten Oberflächen führen.

Sehr verbreitet ist dabei der Einsatz quartärer Ammoniumverbindungen (QAV) als fungizide Wirkstoffe. QAV gehören zu den kationischen Tensiden. Dabei handelt es sich um Substanzen mit oberflächenaktiver Wirkung, die in ihrem Molekül eine hydrophobe (wasserabweisende) Alkylkette und eine hydrophile (wasserlösliche) Gruppe vereinen. Primäres Merkmal der Verbindungen ist ein quartäres Stickstoff-Atom, bei dem die vier Wasserstoffatome der Ammoniumgruppe durch organische Reste, meist mehr oder weniger langer Alkylketten, ersetzt worden sind.

¹ Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Sanierungsleitfaden“), Hrsg.: Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes (2005)

² Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen. Hrsg: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, 2004

Untersuchungen zum Vorkommen von Actinobakterien in feuchtegeschädigten und schimmelpilzbesiedelten Baumaterialien

J. Schäfer, Ch. Trautmann, I. Dill, G. Fischer,
T. Gabrio, I. Groth, U. Jäckel, W. Lorenz,
K. Martin, T. Miljanic, R. Szewzyk, U. Weidner,
P. Kämpfer

Zusammenfassung

Feuchteschäden und oft daraus resultierende Schimmelpilzbelastungen in Innenräumen verursachen häufig gesundheitliche Probleme bei Betroffenen. Obwohl die allergene, infektiöse sowie toxische Wirkung von Schimmelpilzen wissenschaftlich belegt ist, lässt sich beim jetzigen Stand des Wissens nur in Ausnahmefällen ein kausaler Zusammenhang zwischen einem Schimmelpilzschaden im Innenraum und gesundheitlichen Beschwerden feststellen. Bei einer statistischen Auswertung von über 600 Materialproben konnte jedoch gezeigt werden, dass mehr als 80 % der Proben auch Bakterien enthielten (Lorenz, Trautmann und Dill, 2003) und dass diese in einigen Proben sogar eindeutig dominierten. Häufig handelte es sich bei diesen Bakterien um Vertreter der Ordnung *Actinomycetales*. Insgesamt liegen jedoch nur wenige Daten darüber vor, welche Actinobakterien bei Feuchteschäden auftreten. Daher wurde im Rahmen eines vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhabens ermittelt, welche Gattungen bzw. Arten für einen Befall im Innenraum charakteristisch sind. Die Erhebung wurde anhand der Untersuchung von verschiedenen Materialproben (Putz, Styropor, Mineralwolle, Tapete) aus 16 Wohnungen mit Feuchteschäden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass Baumaterialien je nach Feuchteschäden ein diverses Spektrum an Actinobakterien in unterschiedlich hohen Konzentrationen (von $1,8 \times 10^4$ - $7,6 \times 10^7$ KBE pro g) enthalten können. Am häufigsten wurden Vertreter der Gattungen *Streptomyces*, *Amycolatopsis*, *Pseudonocardia*, *Saccharopolyspora* und *Promicromonospora* nachgewiesen. Da diese Gattungen in den meisten Proben nachweisbar waren, ist zu vermuten, dass ihr Auftreten typisch für feuchtegeschädigte Materialien aus Innenräumen ist.

Einleitung

Actinobacteria gehören innerhalb der Domäne *Eubacteria* zur phylogenetischen Großgruppe der Gram-positiven Prokaryonten mit einem hohen Guanin-Cytosin-Gehalt (< 55%) im Genom (Madigan, 2001; Goodfellow, 1989; Ensign, 1992). Die Klasse der *Actinobacteria* enthält zum gegenwärtigen Zeitpunkt 219 verschiedene Gattungen, 48 Familien und 13 Unterordnungen (Zhi *et al.*, 2009).

Actinobacteria sind ubiquitär verbreitet und leben zumeist saprophytisch, d.h. sie ernähren sich von totem Material und kommen überall dort vor, wo organisches Material abgebaut wird. Die Produktion vieler extrazellulärer Enzyme (Cellulasen, Hemicellulasen, Chitinasen, Amylasen und Proteasen) verhilft ihnen Makromoleküle wie Lignin, Cellulose, Pektin, Keratin, Chitin, Stärke und aromatische Verbindungen abzubauen (Fritsche, 1998; Korn-Wendisch und Kutzner, 1992; Ensign, 1992). Die hohe Toleranz gegenüber Temperatur- und pH-Wert Schwankungen, die Fähigkeit bei hohen Salzkonzentrationen zu wachsen, sowie eine große Vielfalt in der Substratverwertung ermög-

Testverfahren zum direkten Nachweis von Schimmelpilzallergenen im Innenraum

Klaus Klus und Ute Stephan

Um eine gesundheitliche Bewertung einer Schimmelpilzbelastung vornehmen zu können wird bislang auf die Bestimmung der auftretenden Schimmelpilzarten und die Bestimmung ihrer Konzentrationen zurückgegriffen. Dabei stützt man sich in erster Linie auf die in der Literatur beschriebenen potenziellen Eigenschaften und Wirkungen, die für den Menschen eine gesundheitliche Beeinträchtigung darstellen können. Hierbei handelt es sich also um einen indirekten Rückschluss auf eine potenziell vorhandene Gesundheitsgefährdung, die nicht auf einem direkten Nachweis des auslösenden Faktors beruht.

Von den vier bekannten Erkrankungsformen, die u. a. durch Schimmelpilze hervorgerufen werden können (Irritationen, toxische Reaktionen, Pilzinfektionen, Allergien/Überempfindlichkeitsreaktionen) beschäftigt sich der vorliegende Beitrag mit der Allergie auslösenden Wirkung bestimmter Schimmelpilzarten und dem direkten Nachweis ihrer antigenen/allergen Proteine.

Zum direkten Nachweis und Quantifizierung von Antigenen/Allergenen findet im Labor insbesondere das ELISA-Verfahren (Enzyme-Linked-Immunosorbent Assay) Anwendung. Zurzeit stehen für die Quantifizierung von Schimmelpilzantigenen/-allergenen folgende vier kommerziell erhältliche Test-Kits zur Verfügung: *Aspergillus fumigatus*, *Alternaria alternata*, *Aspergillus versicolor*, *Stachybotris chartarum*. Für die Bearbeitung einzelner Kundenanfragen ergeben sich jedoch bei Anwendung dieser Test-Kits vergleichsweise hohe Materialkosten.

Für die in letzter Zeit immer wieder auftretenden Kundenanfragen zu Allergennachweisen, insbesondere Allergene von Schimmelpilzen im Zusammenhang mit einzelnen Patienten mit entsprechender medizinischer Befundung einer vorliegenden Überempfindlichkeitsreaktion wurde deshalb zunächst ein qualitativer Antigen-/Allergennachweis mittels des entsprechenden Patientensерums und eines Enzym-markierten Zweitantikörpers etabliert.

Diese Methode fand bisher in zwei Fällen im Rahmen einer Wohnungsbegehung praktische Anwendung. Dabei wurden im Wohnumfeld sowohl Material- als auch Luftproben gezogen und auf Schimmelpilze und Antigene/Allergene untersucht. In beiden Fällen konnten in den Materialproben antigene Proteine nachgewiesen werden. In einem Fall zeigten sich auch maximale Serumantikörper-Reaktionen mit den relevanten Antigenen in den gezogenen Luftproben.

Diese Nachweismethode ist u. a. von der Bereitschaft des Patienten eine Blutprobe zur Verfügung zu stellen und der Antikörperkonzentration im Blutserum abhängig. Des Weiteren kann hier lediglich eine vergleichende qualitative Auswertung vorgenommen werden. Der Vorteil dieser Methode liegt in dem Nachweis der für diesen Patienten spezifisch relevanten Antigene/Allergene.

Um für die Bestimmung antigenen/allergener Proteine von Schimmelpilzen ein von einzelnen Patientensерum unabhängiges, quantitatives und Kosten verträgliches Testverfahren zur Verfügung zu haben, wurde die Entwicklung und Etablierung eines ELISA-Tests mit einem Kaninchenantiserum geplant und in ersten Schritten praktisch umgesetzt. Als wesentliche Zielvorgabe wurde dabei die direkte Erfassung von Antigen-/Allergenbelastungen durch Schimmelpilze, die bei den eigenen Begehungen häufig auf

Kultivierungsunabhängige Nachweismethoden für Schimmelpilze und Bakterien

Christoph Trautmann

Nur ein Teil der in realen Proben enthaltenen Mikroorganismen ist lebensfähig. Von dem Anteil der lebensfähigen Mikroorganismen ist allerdings wiederum nur ein Teil kultivierbar, da neben einer intakten Zelle unterschiedliche Kultivierungsbedingungen für die verschiedenen Mikroorganismen notwendig sind. Entsprechend kann durch den ausschließlichen Einsatz von kultivierungstechnischen Methoden die Gesamtkonzentration der in der Probe vorliegenden Mikroorganismen nicht abgeschätzt werden. Kultivierungsuntersuchungen haben allerdings ihre Berechtigung, da die kultivierbaren Mikroorganismen leicht zu erkennen sind (Koloniebildung auf den Nährmedien) und neben einer Quantifizierung (Mengenbestimmung) auch eine Differenzierung der Mikroorganismen (Unterscheidung einzelner Gruppen, Gattungen, Arten) durchgeführt werden kann.

Im Folgenden werden Methoden skizziert, mit denen Mikroorganismen unabhängig von einer Kultivierbarkeit erfasst werden können. Auch diese Methoden stellen allerdings keinen Gold-Standard dar, sondern haben spezifische Vor- und Nachteile. Um ein möglichst vollständiges Bild über die enthaltenen Mikroorganismen zu erhalten, ist es daher oft sinnvoll, Methoden, die unterschiedliche Strukturen bzw. Eigenschaften der Mikroorganismen nachweisen, parallel einzusetzen.

Die verschiedenen Methoden können grob in die Kategorien mikroskopische, biochemische, immunologische und molekularbiologische Methoden eingeteilt werden. Zum Teil können einzelne Methoden auch miteinander kombiniert angewendet werden.

Mikroskopische Nachweismethoden

Zu den mikroskopischen Methoden gehören Oberflächenproben in Form von Folienkontaktproben sowie kleine Zupfproben, an denen man die Anordnung der Mikroorganismen auf den Oberflächen bzw. am Material (siehe Bild1) beurteilen kann.

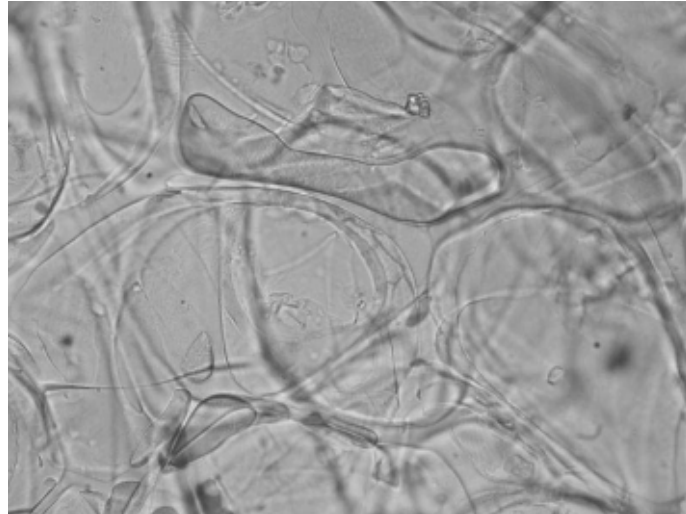


Abb. 1: Polystyrolprobe mit eingewachsenem Pilzmyzel

Verzeichnis der Autoren

Braun, Peter, Alab GmbH, Wilsnacker Str. 15, D-10559 Berlin, www.alab-berlin.de

Cremer, Ruth, Alab GmbH, Wilsnacker Str. 15, D-10559 Berlin, www.alab-berlin.de

Damberger, Bernhard, Innenraum Mess- und Beratungsservice, Stutterheimstrasse 16-18/2, A-1150 Wien, www.innenraumanalytik.at

Dill, Ingrid, Dr., Umweltmykologie Dr. Dill und Dr. Trautmann GbR, Zossener Str. 56-58, 10961 Berlin

Erdinger, Lothar, Priv.-Doz. Dr. rer. nat., Akad. Direktor, Department für Infektiologie; Med. Mikrobiologie und Hygiene, Klinikum der Universität Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 324, 69120 Heidelberg

Friedel, Matthias, Sachverständigenbüro Richardson, Husemannstraße 17, 58452 Witten

Gabrio, Thomas, Dr., Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart

Groth, I. Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie e.V. Hans-Knöll-Institut, Jena

Gunschera, Jan, Dr., Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Material Analytik und Innenluftchemie, Bienroder Weg 54 E, 38108 Braunschweig

Hoffmann, Ulrike, anbus analytik GmbH, Mathildenstraße 48, D-90762 Fürth, www.anbus-analytik.de

Hoffmann, Thomas, Dr., Umweltbeauftragter der Humboldt-Universität zu Berlin

Hofmann, Heidrun, Dr., Bremer Umweltinstitut, Fahrenheitstraße 1, D-28359 Bremen, www.bremer-umweltinstitut.de

Hurraß, Julia, Dr., Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Universitätsklinikum Freiburg

Jäckel, U., Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Nöldner Strasse 40-42, 10317 Berlin,

Kafadaroglu, Barbara, Alab GmbH, Wilsnacker Str. 15, D-10559 Berlin, www.alab-berlin.de

Kämpfer, Peter, Prof. Dr. Dr.-Ing. Justus-Liebig Universität Giessen, Institut für Angewandte Mikrobiologie, Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Giessen

Kern, Jochen, Rechtsanwalt, Kleinreuther Weg 88, 90408 Nürnberg

Klus, Klaus, Dr., BMA-Labor GbR - Technologiezentrum Ruhr - Universitätsstr. 142 - 44799 Bochum

Köhler, Michael, Bremer Umweltinstitut, Fahrenheitstraße 1, D-28359 Bremen, www.bremer-umweltinstitut.de

Krocze, Carmen, anbus analytik GmbH, Mathildenstraße 48, D-90762 Fürth, www.anbus-analytik.de

Lorenz, Wolfgang, Dr., Institut für Innenraumdiagnostik, Institut für Innenraumdiagnostik, Marconistr. 23, 40589 Düsseldorf

Marchl, Dieter, Alab GmbH, Wilsnacker Str. 15, D-10559 Berlin, www.alab-berlin.de

Martin, K., Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie e.V. Hans-Knöll-Institut, Jena

Mehnert, Jutta, Bremer Umweltinstitut, Fahrenheitstraße 1, D-28359 Bremen, www.bremer-umweltinstitut.de

Mersch-Sundermann, Volker, Prof. Dr., Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Universitätsklinikum Freiburg

Mertens, Jörg, Bremer Umweltinstitut, Fahrenheitstraße 1. 25, D-28359 Bremen, www.bremer-umweltinstitut.de

Miljanic, T., Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart

Münzenberg, Uwe, anbus analytik GmbH, Mathildenstraße 48, D-90762 Fürth, www.anbus-analytik.de

Nix, Norbert, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg, Gebäudeuntersuchungen und Bauchemie, Adolf-Braun-Straße 33, 90429 Nürnberg

Richardson, Nicole, Dipl. Biol., ö.b.u.v. Sachverständige für Schimmelpilze und andere Innenraumschadstoffe, Sachverständigenbüro Richardson, Husemannstraße 17, 58452 Witten

Rieß, Michael, Dr., Inhaber *BIU* Büro für integrierten Umweltschutz, DGNB-Auditor, Anna-Wegener-Weg 37, 28357 Bremen

Salthammer, Tunga, Prof. Dr., Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Material Analytik und Innenluftchemie, Bienroder Weg 54 E, 38108 Braunschweig

Sagunski, Helmut, Dr., Behörde für Soziales, Familie, Gesundheit und Verbraucherschutz der Freien und Hansestadt Hamburg, Abteilung Verbraucherschutz – Toxikologische Bewertung –, Billstraße 80, 20539 Hamburg,

Santen, Manfred, Sachverständiger für Gebäudeschadstoffe, Hamburg

Schäfer, J., Justus-Liebig Universität Giessen, Institut für Angewandte Mikrobiologie, Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Giessen

Schmidt, Matthias, anbus analytik GmbH Mathildenstraße 48, D-90762 Fürth, www.anbus-analytik.de

Schmöger, Claudia, Innenraum Mess- und Beratungsservice, Stutterheimstrasse 16-18/2, A-1150 Wien, www.innenraumanalytik.at

Siemers, Ulrike, Bremer Umweltinstitut, Fahrenheitstraße 1, D-28359 Bremen, www.bremer-umweltinstitut.de

Stephan, Ute, Dr., BMA-Labor GbR - Technologiezentrum Ruhr - Universitätsstr. 142 - 44799 Bochum

Szewzyk, R. Umweltbundesamt, Dienstsitz Berlin

Tappler, Peter, Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Innenraum Mess- und Beratungsservice, Stutterheimstrasse 16-18/2, A-1150 Wien, www.innenraumanalytik.at

Thumulla, Jörg, ö.b.u.v. Sachverständiger für Schadstoffe und Gerüche in Innenräumen, anbus analytik GmbH, Mathildenstraße 48, D-90762 Fürth, www.anbus-analytik.de

Tilgner Bernd, Stadt Nürnberg, Hochbauamt, Bereich Bau, Stabsstelle bau umwelt gesundheit (b g u); Marientorgraben 11, 90402 Nürnberg

Trautmann, Christoph, Dr., Umweltmykologie Dr. Dill und Dr. Trautmann GbR, Zossener Str. 56-58, 10961 Berlin

Twrdik, Felix, Innenraum Mess- und Beratungsservice, Stutterheimstrasse 16-18/2, A-1150 Wien, www.innenraumanalytik.at

Ulmann, von Arnulf, Dr., Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Institut für Kunsttechnik und Konservierung

Wefers, Heribert, Dr., Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)

Weidner, U., Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart

Weis, Norbert, Dr., Bremer Umweltinstitut, Fahrenheitstraße 1, D-28359 Bremen, www.bremer-umweltinstitut.de

Wesselmann, Martin, im Bau- Institut Hamburg-Harburg, Eißendorfer Str. 77, 21073 Hamburg, www.gebaeuediagnostik.net

Zorn, Christian, Dr., Bremer Umweltinstitut, Fahrenheitstraße 1, D-28359 Bremen, www.bremer-umweltinstitut.de

AGÖF-LEITFADEN

„GERÜCHE in INNENRÄUMEN

—

SENSORISCHE BESTIMMUNG UND BEWERTUNG“

ENTWURF

EINSPRUCHSFRIST BIS 31.03.2011

VERSION : 12.09.2010

Dieser Leitfaden-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegt.

Stellungnahmen werden erbeten bis 31.03.2011 an den Herausgeber.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung auch von Teilen außerhalb des Urheberrechtgesetzes ist ohne Zustimmung der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. 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.

© 2010 Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V.,
Springe-Eldagsen

HERAUSGEBER:

Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.
Energie- und Umweltzentrum 1
(ehemals: Elmschenbruch 1)
31832 Springe-Eldagsen
Tel.: 05044/ 9 75 75
Fax: 05044/ 9 75 77
Email: agoef@t-online.de
Internet: www.agoef.de

Autorenverzeichnis

In alphabetischer Reihenfolge

Peter BRAUN

(ALAB GmbH, Berlin)

Elke BRUNS (

Umwelt- und Gesundheitsinstitut Bruns, Wittingen)

Bernhard DAMBERGER

(IBO Innenraumanalytik OG, Wien)

Martin HOFFMANN

(Gesellschaft für ökologische Bautechnik mbh, Berlin)

Hans-Peter HUTTER

(Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien)

Michael KUNDI

(Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien)

Wigbert MARAUN

(ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel)

Manfred SANTEN

(Sachverständiger für Gebäude- und Innenraumschadstoffe, Hamburg)

Peter TAPPLER

(Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien)

Jörg THUMULLA

(anbus analytik GmbH, Fürth)

Felix TWRDIK

(Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, Wien)

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	6
2.	ANWENDUNGSBEREICH	6
3.	GRUNDLAGEN	7
3.1.	Historische Entwicklung der Geruchsbewertung	7
3.2.	Physiologie der Geruchswahrnehmung	7
3.3.	Physiologische und psychologische Wirkungen	8
3.4.	Ursachen von Gerüchen in Innenräumen	9
4.	BEGRIFFSBESTIMMUNGEN	9
5.	ZIELE DER SENSORISCHEN GERUCHSPRÜFUNG	10
5.1.	Beurteilung der Zumutbarkeit eines Geruches	11
5.2.	kontrolle des Sanierungserfolges	11
5.3.	Prüfung im Rahmen einer Gebäude-Zertifizierung	11
5.4.	Ermittlung der Art des Geruches bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten	11
5.5.	Ermittlung der Quelle eines festgestellten Geruches	11
6.	MESSTRATEGIE UND GRENZEN DER SENSORISCHEN PRÜFUNG	12
6.1.	Strategien der Geruchsprüfung	12
6.2.	Anzahl der Prüfer	13
6.3.	Vorgehensweise bei der Ermittlung von Geruchsquellen	14
6.4.	Grenzen der sensorischen Geruchsprüfung	14
7.	FEHLERBETRACHTUNG	15
7.1.	Allgemeines	15
7.2.	Statistische Grundlagen	15
7.3.	Inferenzstatistische Auswertung	17
7.3.1.	Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen	17
7.3.2.	Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines bestimmten Kriteriums	19
7.4.	Exemplarische Anwendung der Fehlerbetrachtung	20
8.	ANFORDERUNGEN AN DIE PRÜFER	21
8.1.	Grundanforderungen	21
8.2.	Nachweis der sensorischen Fähigkeiten	21
9.	DURCHFÜHRUNG DER SENSORISCHEN PRÜFUNG	22
9.1.	Auswahl der zu beprobenden Räume und Messpunkte	22
9.2.	Zeitpunkt und Randbedingungen der Prüfung	22
9.3.	Herstellung der Kalibrierstandards	23

9.4. Vorbereitung der Prüfer auf die sensorische Geruchsprüfung	24
9.4.1. Allgemeine Anforderungen	24
9.4.2. Kalibrierung des Geruchssinns beim Messziel Intensitätsbestimmung	24
9.5. Durchführung der direkten Geruchsprüfung	24
9.5.1. Vorgehensweise zur direkten Geruchsprüfung	24
9.5.2. Prüfung der Intensität	25
9.5.3. Prüfung der Hedonik	26
9.5.4. Prüfung der Akzeptanz	27
9.5.5. Beschreibung der Geruchsqualität	27
10. GESAMTBURTEILUNG EINES GERUCHSEREIGNISSES	28
10.1. Allgemeine Vorgehensweise	28
10.2. Einflussfaktoren	28
10.2.1. Zeitraum seit der Erstellung des Raumes	28
10.2.2. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	28
10.2.3. Windgeschwindigkeit und Luftwechsel	28
10.2.4. Nutzung des Raumes	29
10.2.5. Bewusste oder erwartete Freisetzung von Gerüchen	29
10.3. Beurteilung der Zumutbarkeit	29
10.4. Bewertung des Sanierungserfolges	30
10.5. Bewertung im Rahmen einer Gebäudezertifizierung	30
10.6. Ergänzende Bewertungsverfahren	30
11. PRÜFBERICHT	31
12. LITERATUR	32
13. ANHÄNGE	36
13.1. ANHANG 1: Beschreibung von Geruchsqualitäten	36
13.2. ANHANG 2: Vorschlag für ein Geruchsbewertungsformular	38
13.3. ANHANG 3: Berechnungsbeispiele Statistik	39
13.3.1. Ermittlung der Standardunsicherheit eines Panels	39
13.3.2. Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen	40
13.3.3. Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines bestimmten Kriteriums (Grenzwert)	42

1. EINLEITUNG

Die empfundene Luftqualität in Innenräumen gewinnt national wie international an Bedeutung. Da Gebäude aus energetischen Gründen immer luftdichter gebaut werden, ohne dass für einen hygienisch ausreichenden Luftwechsel gesorgt wird, und die Aufenthaltsdauer in geschlossenen Räumen zunimmt, sind Gerüche in Innenräumen zunehmend Ursache für Beschwerden der Nutzer. Die Quellen für Gerüche können sowohl innerhalb als auch außerhalb des Gebäudes liegen. Neben Baustoffen und Materialien der Innenausstattung bzw. deren Abbauprodukten können u. a. technische Anlagen, Bauschäden, Tiere und die Nutzer selbst Ursache für Geruchsbelastungen sein.

Bisher wurden für die Identifikation von Gerüchen in Innenräumen vorrangig chemisch-physikalische Analyseverfahren eingesetzt. Der alleinige Einsatz dieser Verfahren führt jedoch oft nicht zu den gewünschten Ergebnissen. Die menschliche Nase nimmt zahlreiche geruchsintensive Substanzen bereits in Konzentrationen wahr, die in der Laboranalytik unterhalb der Nachweisgrenzen liegen oder aufgrund Ihrer Eigenschaften im Rahmen der routinemäßigen Laboranalytik überhaupt nicht erkannt werden können. Mit dem Einsatz der menschlichen Nase als „Messgerät“ können zusätzliche Parameter wie Intensität, Qualität und Hedonik in die Bewertung einfließen. Eine solche sensorische Geruchsprüfung kann entweder direkt vor Ort oder nach einer Luftprobenahme in Transportbeuteln im Labor erfolgen.

Die individuell und situationsbedingt sehr unterschiedliche Wahrnehmung von Gerüchen kann die Aussagefähigkeit sensorischer Geruchsprüfungen stark reduzieren. Bisher gab es im deutschsprachigen Raum keine abgestimmte Vorgehensweise bzw. handhabbare Technik für Geruchsprüfungen in Innenräumen. Um eine Vergleichbarkeit der Bewertung von Gerüchen in der Innenraumluft zu erreichen, hat die Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) in Kooperation mit dem Arbeitskreis Innenraumluft des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW, Österreich) eine standardisierte Form der Untersuchung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen erarbeitet.

2. ANWENDUNGSBEREICH

Der Leitfaden „Gerüche in Innenräumen – Sensorische Bestimmung und Bewertung“ behandelt die Durchführung von sensorischen Geruchsprüfungen durch zertifizierte Prüfer vor Ort und gibt Empfehlungen für die Erstellung einer Gesamtbeurteilung eines Geruchsereignisses. Er dient der kontextbezogenen Bewertung von Gerüchen.

Es werden Methoden und Kriterien für die Messplanung, die Vorbereitung und Durchführung der Prüfungen vorgegeben, mit denen die Raumluft bezüglich der Geruchsintensität mittels Kategorienskala, der Geruchsqualität, der Hedonik und der Akzeptanz sensorisch beurteilt werden kann. Fragen zu Bewertungen von Luftproben im Geruchslabor, die ohne Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen stattfinden (siehe z.B. HRI 2004) werden nicht behandelt. Der Leitfaden behandelt auch nicht die Durchführung von chemisch-physikalischen Messungen von Geruchsstoffen in der Raumluft.

und andere mögliche Methoden der Bewertung von Gerüchen, deren Ergebnisse jedoch in die im Leitfaden beschriebene „Gesamtbeurteilung“ einfließen können.

Die Kriterien und Mindestanforderungen, die ein Geruchsprüfer erfüllen sollte, sowie die Messplanung und Durchführung der sensorischen Prüfung wurden auf Grundlage der ÖNORM S 5701 „Sensorische Bestimmung der Intensität und Art von Gerüchen in der Innenraumluft – Anforderungen für Vor-Ort-Prüfungen“ (2008) erarbeitet.

Die Konzepte für den Leitfaden und Ergebnisse von in Vorbereitung des Leitfadens durchgeführten Geruchsprüfungen wurden im Zuge mehrerer Fachtreffen und Kongresse vorgestellt (erstmalig Tappeler 2007) und im Rahmen der praktischen, gutachtlichen Tätigkeit der beteiligten Fachleute und Institutionen vielfach erprobt.

3. GRUNDLAGEN

3.1. HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER GERUCHSBEWERTUNG

Mitte des 19. Jahrhunderts schlug Max von Pettenkofer den CO₂-Gehalt der Raumluft als messbaren Indikator für die Verunreinigung der Luft vor (Pettenkofer 1858). Er betrachtete den Menschen, dabei vor allem die von ihm abgegebenen Geruchsstoffe, als die dominierende Verunreinigungsquelle für die Raumluft.

1936/1937 beschrieb Yaglou bei seinen Raumklimauntersuchungen erstmals eine subjektive Methode zur Bewertung der Innenraumluftqualität (Yaglou 1936). Die Innenraumluft wurde durch untrainierte Probanden auf einer Skala von 0 bis 5 beurteilt.

Ole Fanger stellte 1988 zwei neue Einheiten zur Beurteilung von Gerüchen in der Innenraumluft zur Diskussion (Fanger 1988). Die Verunreinigungslast wurde in der Einheit olf (lateinisch: Olfactus) angegeben und berücksichtigt primär die vom menschlichen Organismus abgegebenen Geruchsstoffe. Sie wird nicht direkt gemessen, sondern wird über die von untrainierten Probanden empfundene Luftqualität hergeleitet. Die empfundene Luftqualität wird dann in der Einheit Pol bzw. in der Praxis Dezipol (lateinisch: Pollutio) angegeben. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, waren große Probandengruppen notwendig, wobei die Probanden ihre Bewertung unmittelbar nach Betreten des zu beurteilenden Raumes fällten.

Um die Anzahl der Probanden reduzieren zu können, hat Bluyssen ein Trainingsverfahren entwickelt, um den Probanden (die dann als „Prüfer“ bezeichnet werden) eine direkte Bewertung der empfundenen Luftqualität in der Einheit Dezipol zu ermöglichen (Bluyssen 1990).

Vom Hermann-Rietschel-Institut in Berlin wurde eine Methodik mittels eines nach oben offenen Vergleichsmaßstabs (pi-Skala mit Aceton als Referenzsubstanz) zur Bewertung der Intensität von Gerüchen entwickelt (Müller et al. 2004). Zur Beurteilung der Innenraumluft werden Luftproben vor Ort in Säcken gezogen, in ein geeignetes Geruchslabor transferiert und dort sensorisch bewertet (HRI 2004).

3.2. PHYSIOLOGIE DER GERUCHSWAHRNEHMUNG

Geruch ist ein Sinneseindruck. Der Vorgang der Geruchswahrnehmung wird als Riechen oder Olfaktion bezeichnet. Er vollzieht sich an der Riechschleimhaut in der Nase, in der die Riechepithelien (Rezeptoren) lokalisiert sind. Nach einer Kontaktierung der

Riechepithelzellen mit einem Geruchsstoff treten elektrische Reaktionen in Form von Potentialschwankungen in den angrenzenden Nervenbahnen auf und geraten darüber zu „primären Riechzentren“ (Riechknötchen) im Gehirn. Von dort aus werden die olfaktorischen Informationen anderen Gehirnbereichen, z.B. dem für die Emotionen und Affekte wichtigen Limbischen System zugeleitet und ergeben ein „Geruchsbild“, das unverzüglich mit bereits vorhandenen Gedächtnisinhalten bzw. Erfahrungen verglichen wird.

Es gibt eine Vielzahl geruchsverursachender Stoffe. Der Mensch ist in der Lage, 2000 bis 4000 Geruchsqualitäten (Pöhle 1994) zu unterscheiden. Eine verbale Beschreibung oder Klassifizierung der Geruchsempfindung ist oft sehr problematisch. In der Praxis greift man daher oft auf einen Vergleich mit bekannten oder als Referenz dienenden Substanzen zurück (s. Anhang 1: „Beschreibung von Geruchsqualitäten“).

Eine ausführliche Beschreibung der Geruchswahrnehmung findet sich z.B. im „Handbuch zur Messung der empfundenen Luftqualität“ (HRI 2004).

3.3. PHYSIOLOGISCHE UND PSYCHOLOGISCHE WIRKUNGEN

In der Natur wirken angenehm empfundene Geruchsstoffe beispielsweise als Lockstoffe, unangenehm riechende Substanzen mitunter als Alarm- und Abwehrstoffe. Beeinflusst durch Erfahrungen und Erinnerungen ruft ein bestimmter Geruch bei einem Menschen angenehme oder unangenehme Empfindungen hervor. So wirkt ein angenehmer Geruch stimulierend und verbessert das Lebensgefühl, ein unangenehmer oder fremdartiger Geruch hingegen führt zu schlechter Stimmung, Aggressivität, Nervosität oder weckt den Fluchtinstinkt. Der ständige Einfluss unangenehmer Gerüche kann zu körperlichen und seelischen Schäden führen (Schön & Hübner 1996).

In geschlossenen Räumen werden persistente Gerüche, deren Auftreten und Dauer von den Raumnutzern nicht gesteuert werden können, meistens als störend empfunden. Bei einer Geruchsbelastung kann sich das psychische, physische und soziale Wohlbefinden verschlechtern und sich eine Minderung der subjektiven Leistungsfähigkeit einstellen. (Fischer et al. 1998).

Unangenehme Gerüche sind Stressoren. Physiologisch können Stressfaktoren Verengungen der peripheren Blutgefäße oder Pupillenerweiterungen bewirken, auch über geruchsbedingte Schlafstörungen wird berichtet. Es wird vermutet, dass sich schlechte Gerüche verstärkend auf asthmatische Symptome auswirken (Theuer et. al. 1995).

Viele geruchsaktive Verbindungen können Reizwirkungen an den Schleimhäuten erzeugen. Diese so genannten sensorischen Irritationen äußern sich als Brennen, Stechen, Prickeln, Nies- und Hustenreiz bzw. Tränenfluss (Wichmann et al. 1992 ff.). Außerdem können unangenehme Gerüche zu Übelkeit und Brechreiz führen.

Geruchsbelastungen können psychosomatische Beschwerden verursachen. Häufig ruft eine Geruchswahrnehmung toxikologisch nicht begründete Ängste vor einer Schadstoffbelastung hervor. Werden Gerüche als Signale oder Bedrohung aufgefasst, können sie Sorge, Angst oder Aggression auslösen. Daraus kann eine ernst zu nehmende Gesundheitsgefährdung entstehen. Bei den so genannten Toxikopien entwickeln die Patienten Krankheitsbilder oder pathologische Symptome, die für eine Vergiftung typisch sind, ohne dass der jeweilige Giftstoff vorhanden ist (LfU Bayern 2008).

3.4. URSACHEN VON GERÜCHEN IN INNENRÄUMEN

Gerüche, die in Innenräumen auftreten und vor allem jene, die von den Nutzern als störend empfunden werden, können aus sehr unterschiedlichen Quellen stammen. Dazu gehören Baumaterialien wie Farben, Lacke, Holzwerkstoffe, Kleber, Isolierungen und Dichtstoffe, die bei der Errichtung und Renovierung eines Gebäudes eingesetzt wurden. Auch Einrichtungs- und Gebrauchsgegenstände wie Möbel oder Büroausstattungen haben Einfluss auf die Entstehung von Gerüchen.

Eine weitere mögliche Quelle für Gerüche im Gebäude sind biologische Abbauvorgänge, bei denen Bakterien und Schimmelpilze, aber auch Tiere und Menschen geruchlich auffällige Stoffe produzieren. Ursachen können Bauschäden oder mangelhafte Raumlufttechnische Anlagen sein. Weitere Ursachen für Geruchsentwicklungen im Gebäude sind Feuerstätten (Kamin), Tabakrauch und gelagerte Stoffe wie Heizöl. Eine weitere Kategorie der Quellen liegt außerhalb des Raumes bzw. des Gebäudes und wird über Fenster, Lüftungsanlagen oder Undichtigkeiten im Gebäude oder in der Gebäudehülle eingetragen.

4. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

In diesem Leitfaden gelten die folgenden Begriffsbestimmungen.

Adaptation

Unter konstant andauernder Reizung der Sinneszellen wird die Reizempfindung abgeschwächt. Das Ausmaß dieser Adaptation hängt von der Art der Geruchsstoffe und von der Reizkonzentration ab.

Akzeptanz

Maß für die Zufriedenheit mit einem bestimmten Umgebungszustand in einem Innenraum, unter Kenntnis der Nutzungsart des Raumes und weiterer Begleitumstände.

Anosmie

Fehlende Empfindlichkeit gegen Geruchsreize (Geruchsblindheit). Es gibt sowohl partielle als auch totale Anosmie.

Geruchsqualität

Verbale Beschreibung der Geruchsempfindung im Vergleich mit bekannten oder als Referenz dienenden Substanzen (siehe Anhang 1, Tabelle „Beschreibung von Geruchsqualitäten“).

Intensität des Geruchs

Stärke der Geruchsempfindung, die durch einen Geruchsreiz ausgelöst wird.

Hedonische Bewertung (Hedonik)

Bewertung eines Geruchseindrucks in Abhängigkeit vom Geruchsstoff und dem individuellen Erfahrungshintergrund innerhalb der Bewertungspole „äußerst angenehm“/ „äußerst unangenehm“.

Geruchsschwelle, Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle

Geruchsschwellen beschreiben minimale Konzentrationen eines Geruchsstoffes, bei denen der Geruch durch die Mehrheit der Prüfer wahrgenommen (Wahrnehmungsschwelle) oder erkannt (Erkennungsschwelle) werden kann.

Bei der Geruchsschwelle in Bezug auf einzelne Personen spricht man von individueller Wahrnehmungs- bzw. Erkennungsschwelle.

Probanden

nicht geschulte Personen, die den Nachweis des Riechvermögens erbracht haben. Sie werden im Rahmen dieser Richtlinie nicht eingesetzt.

Prüfer

zertifizierte Personen die den Nachweis des Riechvermögens erbracht haben und anhand von Kalibrierstandards geschult wurden.

Referenz

Naturstoffe, Chemikalien oder Zubereitungen, die als charakteristisch für eine Geruchsqualität angesehen werden.

Sensibilisierung

Gesteigertes Geruchsempfinden durch Einwirkung eines Geruchsstoffs über einen längeren Zeitraum im Bereich der Geruchsschwelle.

Zumutbarkeit

Gesamtergebnis für die Feststellung, ob eine Belästigung (hygienischer Mangel) vorliegt, wird mit dem Begriff der Zumutbarkeit zusammengefasst. Die Zumutbarkeit ist eine Konvention, neben Intensität, Hedonik und Akzeptanz des Geruchs die Nutzung bzw. Widmung des betreffenden Raumes, den Zeitraum, der seit Ausstattung eines Raumes vergangen ist, und eine Bewertung der Geruchsquelle selbst berücksichtigt.

5. ZIELE DER SENSORISCHEN GERUCHSPRÜFUNG

Eine sensorische Geruchsprüfung der Innenraumluft kann unterschiedlichen Zielen dienen. Neben der Suche nach den Ursachen für als unangenehm oder störend empfundene Gerüche sind die Frage der Zumutbarkeit von Gerüchen und der Nutzbarkeit betroffener Räume Ziele einer fachlich fundierten Beurteilung von Gerüchen in Innenräumen.

Im Rahmen dieses Leitfadens werden folgende Ziele unterschieden:

- Bewertung, ob aufgrund von Gerüchen im Raum eine unzumutbare Belästigung vorhanden ist bzw. ob ein beklagter Geruch einen hygienischen Mangel der Raumluft darstellt
- Kontrolle des Sanierungserfolges
- Prüfung im Rahmen von Gebäude-Zertifizierungen
- Ermittlung der Art des Geruches bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten
- Ermittlung der Quelle eines festgestellten Geruches

5.1. BEURTEILUNG DER ZUMUTBARKEIT EINES GERUCHES

Nach den Bauordnungen der Länder sind bauliche Anlagen so zu errichten und instand zu halten, dass „Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden“ (§ 3 Musterbauordnung, MBO). Bauprodukte, mit denen Gebäude errichtet oder die in solche eingebaut werden, haben diese Anforderungen insbesondere in der Weise zu erfüllen, dass „durch chemische, physikalische oder biologische Einflüsse Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen“ (§16 MBO). Gerüche in Innenräumen sind eine häufige Ursache für Beschwerden. Ab einer bestimmten Dauer und Intensität können sie zu einer unzumutbaren Belästigung führen. Bisher gibt es jedoch für Geruchsstoffe in Innenräumen keine verbindlichen Grenz- und Richtwerte. Es finden sich vereinzelt Regelungen bezüglich Gerüchen in diversen Landesgesetzen, jedoch betreffen diese hauptsächlich die Außenluft.

Wenn festgestellt werden soll, ob aufgrund von Gerüchen im Raum eine unzumutbare Belästigung vorhanden ist bzw. ob ein beklagter Geruch einen hygienischen Mangel der Raumluft darstellt, ist die Prüfung der Geruchsintensität, der Geruchsqualität, der Hedonik und der Akzeptanz durchzuführen.

5.2. KONTROLLE DES SANIERUNGSERFOLGES

Nach Abschluss von Sanierungsarbeiten, welche die Reduktion von Geruchsbelästigungen zum Ziel haben, soll die Effektivität der getroffenen Sanierungsmaßnahmen geprüft werden.

5.3. PRÜFUNG IM RAHMEN EINER GEBÄUDE-ZERTIFIZIERUNG

Im Rahmen von Gebäude-Zertifizierungen ist die sensorische Prüfung der Raumluft ein wichtiger Baustein der Gesamtbewertung.

5.4. ERMITTLUNG DER ART DES GERUCHES BZW. DER VOR ORT DOMINANTEN GERUCHSKOMPONENTEN

Wenn die Art des Geruches bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten ermittelt werden soll, ist möglicherweise nur eine Prüfung der Geruchsqualität notwendig. Mit der Beschreibung des Geruches (s. Kapitel 9.5.5 und Anhang 1: „Beschreibung von Geruchsqualitäten“) können Verknüpfungen zu möglichen Quellen erstellt werden.

5.5. ERMITTLUNG DER QUELLE EINES FESTGESTELLTEN GERUCHES

Häufig beschränkt sich die Untersuchung von Gerüchen in Gebäuden auf die Suche nach der Quelle. Hierbei ist festzustellen, ob die Ursache der Geruchsbelästigung auf ein im Raum befindliches Material, auf die Innenausstattung, auf einen verwendeten Baustoff oder eventuell andere Ursachen wie Luftströmungen aus anderen Teilen des Gebäudes zurückzuführen ist.

6. MESSTRATEGIE UND GRENZEN DER SENSORISCHEN PRÜFUNG

6.1. STRATEGIEN DER GERUCHSPRÜFUNG

Messstrategien zur Prüfung von Gerüchen in Innenräumen sind:

- die sensorische Bewertung der Raumluft vor Ort durch geschulte Prüfer
- die sensorische Bewertung der Raumluft vor Ort durch ungeschulte Probanden
- die Probenahme von Raumluft in speziellen Transportbehältern und sensorische Bewertung der Luftproben im Labor.

Vor- und Nachteile der sensorischen Bewertung der Raumluft vor Ort:

- Kontextbezogene Bewertung der Raumluft möglich
- Bei kleinen Panelgrößen und guter lokaler Verfügbarkeit von Prüfern kostengünstig
- Technischer Aufwand bei Probenahme gering
- Vorhandensein eines Geruchslabors nicht notwendig
- Möglichkeit der Wiederholung des Prüfvorganges vor Ort
- Sofortige Verfügbarkeit der Ergebnisse
- Gleichzeitiges Ermitteln der Quellen möglich
- Beeinflussung der Beurteilungsergebnisse durch Umgebung und kontextbezogene Faktoren
- Adaptation der Prüfer auf dem Weg zu Messort im Gebäude möglich
- Beschränkte Möglichkeit der Prüferanzahl bei kleinen Räumen, da in diesem Fall eine Beeinflussung des Geruchs der Raumluft durch die Prüfer selbst erfolgt

Vor- und Nachteile der Probenahme in Transportbehältern und Bewertung der Luftproben im Labor:

- Kontextunabhängige Bewertung der Raumluft möglich, Prüfer haben keine visuelle Kenntnis möglicher Quellen bei der Beurteilung
- Bei schlechter lokaler Verfügbarkeit von Prüfern oder wenn Bestellung der Prüfer zum Prüfort logistisch aufwendig wäre, kostengünstig
- Prüfung auch möglich, wenn kein Raum zur Regeneration des Geruchssinns der Prüfer zur Verfügung steht
- Prüfung auch möglich, wenn die Gefahr besteht, dass störende Umgebungsbedingungen (z.B. Zugerscheinungen, Licht oder Lärm) die Bewertung stören könnten
- Technischer Aufwand bei Probenahme und Prüfung wesentlich größer
- Vorhandensein eines Geruchslabors notwendig
- Möglichkeit der Wiederholung des Prüfvorganges im Labor
- Gefahr der Veränderung der Probe bei Transport und Lagerung durch hohe Temperaturen beim Transport durch Witterungsbedingungen, unzureichende Vorbehandlung der Probenbehälter oder lange Lagerzeiten

- Veränderung der Geruchsqualität und Intensität der Probe während Lagerung und Transport durch luftchemische Prozesse möglich

Die Strategie zur Beurteilung der Zumutbarkeit eines Geruches durch Probenahme in Transportbehältern und Bewertung der Luftproben im Labor sowie die Geruchsprüfung mittels numerischem Vergleichsmaßstab wird in diesem Leitfaden nicht behandelt (siehe dazu HRI 2004). Die sensorische Bewertung der Raumluft vor Ort durch ungeschulte Probanden wird ebenfalls nicht behandelt.

Im Zuge einer situativ-integrativen Gesamtbewertung sind mitunter, vor allem bei bestimmten Geruchsqualitäten, zusätzlich zur sensorischen Prüfung chemisch-analytische Messungen der Raumluft, insbesondere auf flüchtige organische Verbindungen sinnvoll.

6.2. ANZAHL DER PRÜFER

Die notwendige Anzahl der Prüfer richtet sich in jedem Fall nach den jeweiligen Anforderungen an die Messunsicherheit. Soll die Einhaltung einer Zielvorgabe überprüft werden, muss das Messergebnis unter Einbeziehung der Messunsicherheit hierzu eine eindeutige Aussage liefern. Liegt die Zielvorgabe innerhalb der Fehlergrenzen (Konfidenzintervall) des Messergebnisses, ist die Geruchsprüfung mit einer größeren Prüferzahl zu wiederholen.

In vielen Fällen können auch mit wenigen Prüfern hinreichend aussagekräftige Aussagen getroffen werden. In der Praxis ergibt sich oft die Situation, dass entweder aus ökonomischen oder technischen Gründen eine kleinere Prüferanzahl gewählt werden muss. Bei kleinen zu prüfenden Räumen ist zudem die Prüferanzahl auf wenige Prüfer zu beschränken, da eine Beeinflussung des Geruchs der Raumluft durch die Prüfer selbst erfolgt.

Zur Erstbeurteilung und Festlegung weiterer Schritte kann zur Bewertung der Zumutbarkeit eine Begehung mit Beurteilung der Situation durch einen einzelnen erfahrenen Prüfer geeignet sein. In der Regel ist jedoch eine statistisch abgesicherte Beurteilung eines Raumes durch eine Prüfung mit einem größeren Prüferpanel notwendig. Je mehr Prüfer eingesetzt werden, desto mehr sinkt die methodisch bedingte Unsicherheit der Bewertung (siehe Kap.7: Fehlerbetrachtung). Ist es nicht möglich, mit wenigen Prüfern zu statistisch abgesicherten Ergebnissen zu gelangen, muss die Zahl der Prüfer erhöht und die Prüfung wiederholt werden.

Für eine statistisch abgesicherte Beurteilung des Erfolgs einer Sanierung oder die Zertifizierung eines Gebäudes ist in der Regel die Prüfung durch ein entsprechend großes Prüferpanel notwendig.

Für die orientierende Ermittlung der Art des Geruches bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten sowie für die Suche nach den Quellen eines Geruches kann ein erfahrener Einzelprüfer ausreichend sein. Häufig erleichtert jedoch die Heranziehung von mehreren Prüfern die Quellensuche.

6.3. VORGEHENSWEISE BEI DER ERMITTLUNG VON GERUCHSQUELLEN

Im Unterschied zur Beurteilung der Luftqualität können beim Messziel „Quellensuche“ Prüfer hilfreich sein, die den Geruch kennen oder auch Personen, die selber von der Geruchsbelästigung betroffen sind, insbesondere wenn der Geruch intermittierend auftritt. Da sich Gerüche in der Regel gleichmäßig im Raum verteilen, wird in den wenigsten Fällen eine einfache Oberflächenprüfung durch geruchssensorische Be-
probung („Beriechen“) der Oberfläche erfolgreich sein. Zusätzlich ist das Problem zu berücksichtigen, dass sich der Geruch auch sekundär auf Oberflächen anreichert, was eine Ortung der Quelle erschwert.

Folgende weitere Maßnahmen können zur Quellensuche angewendet werden:

- Anlegen eines definierten Unterdruckes mit dem Ziel einer Inhomogenisierung der Geruchsverteilung im Raum (Damberger et al. 2004)
- Abgrenzung einzelner Oberflächen von der Raumluft, beispielsweise durch Einsatz von Messzellen aus Edelstahl oder Aluminiumfolien, mit dem Ziel der Anreicherung der Geruchsintensität im Kopfraum der Quelle bei eingeschränktem Luftwechsel
- Entnahme von Materialproben in Probenahmebehälter (z.B. gereinigte, konditionierte Schraubgläser) mit dem Ziel, die Geruchseindrücke im Kopfraum der Gläser mit den Geruchseindrücken in der Raumluft zu vergleichen.
- Entnahme von Materialproben zur chemisch analytischen oder sensorischen Laborprüfung

6.4. GRENZEN DER SENSORISCHEN GERUCHSPRÜFUNG

Das menschliche Geruchsorgan nimmt zahlreiche Gerüche von Stoffen auch dann noch wahr, wenn sie analytisch nicht mehr erfassbar sind. Andererseits existieren Substanzen, die auch in toxischen Konzentrationen völlig geruchlos sind. Die Praxis zeigt, dass häufig Situationen auftreten, in denen mittels chemisch-physikalischer Methoden keine Auffälligkeiten zu identifizieren, aber dennoch zum Teil starke Gerüche sensorisch feststellbar sind.

Für eine hygienische Untersuchung der Innenraumluft wird eine sensorische Geruchsprüfung in vielen Fällen notwendig sein; insbesondere für die Bewertung der Zumutbarkeit eines Geruches stellt sie eine unverzichtbare Teiluntersuchung dar.

Für die Gesamtbewertung einer Geruchssituation können neben der sensorischen Geruchsprüfung jedoch auch weitere Untersuchungsergebnisse (z.B. aus chemischen und physikalischen Untersuchungen) berücksichtigt und nach den dafür vorgesehenen Richtlinien bewertet werden.

Bei der sensorischen Geruchsprüfung sind die spezifischen Eigenarten menschlicher Wahrnehmung von Gerüchen zu berücksichtigen. Sowohl zwischen unterschiedlichen Personen als auch zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten der Geruchswahrnehmung einer Person können erhebliche Unterschiede bestehen. Diese spezifischen Unterschiede sollen durch Prüfvorgaben in diesem Leitfaden relativiert werden.

7. FEHLERBETRACHTUNG

7.1. ALLGEMEINES

Es wird angenommen, dass die geschulten Prüfer die Wahrnehmung des gesunden, normalempfindenden Menschen widerspiegeln. Sie sind darin geschult, die Skalen für Intensität, Hedonik und Akzeptanz unabhängig zu verwenden, also etwa die Intensität nicht in Abhängigkeit von der Hedonik zu beurteilen, und die Skalen in den vorgegebenen Abstufungen zu nutzen.

Des weiteren können wir davon ausgehen, dass in einer gegebenen Situation hinsichtlich der drei zu erfassenden Geruchsmerkmale eine bestimmte Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Wahrnehmung durch den gesunden, normalempfindenden Menschen vorliegt, welche das Panel schätzen soll. Diese Verteilung in allen Eigenschaften zu schätzen, würde eine sehr große Gruppe benötigen. Deshalb wird man sich mit der Schätzung der Lage und eventuell der Streuung begnügen.

Die Art dieser Wahrscheinlichkeitsverteilungen ist unbekannt, hinsichtlich der jeweiligen Skala, auf der sie definiert ist, nehmen wir an, dass die Abstände auf den drei Skalen so gewählt sind, dass das Verhältnis der Intervalle bestimmt ist. Dies bedeutet, dass etwa ein Anstieg um zwei Skalenpunkte bei der Intensität einem doppelt so starken Intensitätsunterschied entspricht wie ein Anstieg um einen Skalenpunkt. Im Unterschied zu den Skalen für Akzeptanz und Hedonik werden bei der Intensitätsskala die Werte auf der Intensitätsskala anhand von n-Butanol Konzentrationen verankert. Dabei wird deutlich, dass die Intensitätsskala annähernd (außer der niedrigsten und der höchsten Punktezahl) eine logarithmische Abstufung hinsichtlich der n-Butanol Konzentration besitzt, was annähernd der Psychophysik der Geruchswahrnehmung entspricht. Obwohl die Wahrscheinlichkeitsverteilung unbekannt ist, können wir aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes annehmen, dass der Mittelwert der Skalenwerte der Prüfer angenähert eine Normalverteilung besitzt, sofern die Urteile nicht an den Skalenextremen liegen, was für alle praktisch bedeutsamen Fälle angenommen werden kann.

Entscheidend für die Anwendbarkeit der statistischen Modelle ist die Unabhängigkeit der Beobachtungen. Diese muss mittels geeigneter Vorkehrungen sichergestellt werden. So müssen die Prüfer jede auch nichtverbale Kommunikation untereinander über den Prüfgegenstand vor Abgabe der Urteile unterlassen.

7.2. STATISTISCHE GRUNDLAGEN

Der Schätzwert für die Lage der Verteilung ist das arithmetische Mittel der unabhängigen Urteile. Das arithmetische Mittel errechnet sich durch folgende Formel:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{(Gleichung 1)}$$

Dabei ist:

$\bar{x}$ arithmetischer Mittelwert der Einzelwerte

n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)

x_i die im Rahmen einer Prüfung ermittelten Einzelwerte der Prüfer

Sind die n Zufallsvariablen x_i unabhängig gewonnen worden, also beispielsweise aufgrund einer Stichprobe von Geruchsprüfern, die ihre Urteile gewonnen haben, ohne miteinander zu kommunizieren, so ist das arithmetische Mittel ein erwartungstreuer Schätzwert für das Urteil aller Prüfer (und damit gewissermaßen des ‚normal-empfindenden‘ Menschen). Die Standardabweichung der Grundgesamtheit wird mit der Formel (2) abgeschätzt:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Dabei ist:

- s Standardabweichung der im Rahmen einer Prüfung ermittelten Einzelwerte
- n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)
- x_i die im Rahmen einer Prüfung ermittelten Einzelwerte der Prüfer
- $\bar{x}$ arithmetischer Mittelwert der Einzelwerte

Besteht ein bestimmtes Panel aus n Prüfern eine längere Zeit, dann empfiehlt es sich, die Urteilsstreuung nicht nur über eine einzelne Messserie, sondern über eine größere Zahl von Geruchssituationen zu schätzen. Die gepoolte Varianz innerhalb der Geruchssituationen kann dann als präzisere Schätzung der Urteilsvarianz herangezogen werden. In diesem Fall kann die Standardunsicherheit auf Basis dieser gepoolten Standardabweichung (Varianz) angegeben werden. Die gepoolte Standardabweichung ergibt sich aus folgender Formel:

$$s_{pool} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{k}} \quad (\text{Gleichung 3})$$

Dabei ist:

- s_{pool} gepoolte Standardabweichung
- s_i Standardabweichung des i -ten Durchgangs einer Geruchsprüfung in Hinblick auf eine Messmethode (Intensität, Hedonik oder Akzeptanz)
- k Anzahl der vom gleichen Panel durchgeführten Geruchsbewertungen

Die Standardabweichung des Mittelwerts ist die Standardabweichung dividiert durch die Wurzel der Anzahl Urteile. Diesen Wert nennt man auch Standardunsicherheit.

Die erreichte Genauigkeit der durchgeführten sensorischen Geruchsprüfung kann durch ein Konfidenzintervall für den Mittelwert ausgedrückt werden. α bezeichnet die statistische Unsicherheit und $100-\alpha$ die statistische Sicherheit. Um die Breite des Konfidenzintervalls zu berechnen, muss α vorher festgelegt werden, es wird im Fall von Geruchsprüfungen in der Regel mit 10% festgelegt, andere Vorgaben sind jedoch ebenfalls möglich (z.B. können geringere Unsicherheiten mit 5% oder 1% erwogen werden). Das Konfidenzintervall schließt in $100-\alpha$ Prozent der Fälle den wahren Wert μ , den entsprechenden Mittelwert der Verteilung aller Urteile ein.

Das zweiseitige Konfidenzintervalls ist symmetrisch um den Mittelwert $\bar{x}$ und errechnet sich gemäß (4):

$$\mu \in \left[\bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{(100-\alpha/2); n-1} \right] \quad \text{(Gleichung 4)}$$

Dabei ist:

- μ Mittelwert der Verteilung der Population aller Urteile
- $\bar{x}$ arithmetischen Mittelwert der Einzelwerte
- s Standardabweichung der Einzelwerte
- n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)
- $t_{(100-\alpha/2); n-1}$ 100-Alpha/2 Perzentil der Student t-Verteilung bei n-1 Freiheitsgraden

Das erreichbare Konfidenzintervall bei den sensorischen Geruchsprüfungen wird durch die Anzahl an Urteilen und die Standardabweichung der Bewertungen der Gruppe bestimmt. Mit zunehmender Zahl an Urteilen wird das Konfidenzintervall enger. Bei gleicher Anzahl von Prüfern sind Verfahren mit geringerer Standardabweichung vorzuziehen.

7.3. INFERENZSTATISTISCHE AUSWERTUNG

In manchen Fällen wird es notwendig sein, ein statistisches Urteil über die Lage der Wahrnehmungsverteilung vorzunehmen. Dabei müssen zwei Aufgaben unterschieden werden. Einerseits kann die Frage untersucht werden, ob sich eine bestimmte Geruchssituation bedeutsam von einer vorgegebenen Situation unterscheidet. Andererseits kann es relevant sein zu prüfen, ob eine vorliegende Geruchssituation einem gegebenen Kriterium entspricht, z.B. ob die Intensität einen Grenzwert unterschreitet. Diese Aufgaben sehen auf den ersten Blick äquivalent aus, sind jedoch, wie sich zeigen wird, deutlich voneinander abzugrenzen.

7.3.1. Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen

Besteht die Aufgabe darin zu untersuchen, ob eine bestimmte, zu vergleichende Geruchssituation sich von einer vorgegebenen bedeutsam unterscheidet (z.B. die Frage, ob die Geruchsintensität zunimmt), dann ist der Ausgangspunkt die statistische Hypothese, dass sich die gegebene Situation von der zu vergleichenden nicht unterscheidet. Dies ist darin begründet, dass die Verwerfung dieser Hypothese bei vorgegebener Irrtumswahrscheinlichkeit gegebenenfalls eine Aussage der gewünschten Art ermöglicht. Da es sich nur um die Lage der Wahrnehmungsverteilung handelt, wird die Hypothese über den Erwartungswert μ der Verteilung formuliert. Diese Hypothese wird konventionell Nullhypothese genannt und mit H_0 bezeichnet:

$$H_0: \mu = \mu_c$$

Dabei ist:

- μ wahrer Mittelwert der Wahrnehmungsverteilung der zu vergleichenden Geruchssituation
- μ_c Lageparameter der Wahrnehmungsverteilung der vorgegebenen Situation, zu der ein möglicherweise bestehender Unterschied erfasst werden soll.

Die Alternativhypothese H_1 kann grundsätzlich je nach Problemstellung ein- oder zweiseitig formuliert werden. Bei der Beurteilung von Gerüchen ist im Allgemeinen der einseitige Test durchzuführen:

$H_1: \mu < \mu_c$ bzw. $H_1: \mu > \mu_c$ (je nachdem, ob eine Zu- oder Abnahme des Mittelwerts der Wahrnehmungen geprüft werden soll)

Die Nullhypothese kann bei vorgegebener Irrtumswahrscheinlichkeit (gewöhnlich 5% oder 10%) je nach Vorwissen auf folgende Art geprüft werden:

Ist die Varianz σ^2 der Wahrnehmungsverteilung z.B. auf Basis zahlreicher früherer Urteile des gleichen Prüferpanels als bekannt vorauszusetzen, dann kann die Prüfung auf Basis der Standardnormalverteilung mittels der Prüfgröße u erfolgen:

$$u = \frac{(\bar{x} - \mu_c)\sqrt{n}}{\sigma} \quad (\text{Gleichung 5})$$

Dabei ist:

- $\bar{x}$ arithmetischer Mittelwert der zu vergleichenden Geruchssituation
- μ_c Lageparameter der Wahrnehmungsverteilung der vorgegebenen Situation, zu der ein möglicherweise bestehender Unterschied erfasst werden soll
- n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)
- σ als bekannt angenommene Standardabweichung der Wahrnehmungsverteilung

Der Wert u wird bei einseitiger Fragestellung anhand des 100-Alpha Perzentils der Standardnormalverteilung beurteilt. Überschreitet der Prüfwert u den Wert des 100-Alpha Perzentils der Standardnormalverteilung, so kann die Nullhypothese verworfen werden.

Kann die Varianz σ^2 der Wahrnehmungsverteilung nur anhand der n Urteile, aus denen auch der Erwartungswert μ geschätzt wird, mittels der Stichprobenvarianz s^2 geschätzt werden, dann wird die Nullhypothese anhand der Prüfgröße T auf Basis der Student t-Verteilung geprüft:

$$T = \frac{(\bar{x} - \mu_c)\sqrt{n}}{s} \quad (\text{Gleichung 6})$$

Dabei ist:

- $\bar{x}$ arithmetischer Mittelwert der zu vergleichenden Geruchssituation
- μ_c Lageparameter der Wahrnehmungsverteilung der vorgegebenen Situation, zu der ein möglicherweise bestehender Unterschied erfasst werden soll
- n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)
- s Standardabweichung der Einzelwerte der zu vergleichenden Geruchssituation.

Der Wert T wird bei einseitiger Fragestellung anhand des 100-Alpha Perzentils der Student t-Verteilung bei $n-1$ Freiheitsgraden beurteilt. Überschreitet der Prüfwert T den Wert des 100-Alpha Perzentils der Student t-Verteilung, so kann die Nullhypothese verworfen werden.

7.3.2. Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines bestimmten

Kriteriums

In Bezug auf die Intensität und die Akzeptanz kann es relevant sein zu prüfen, ob eine vorliegende Geruchssituation einem gegebenen Kriterium entspricht. Dieses Kriterium wird bei der Intensität bzw. der Akzeptanz ein bestimmter Zahlenwert sein, bei dem geprüft werden soll, ob er eingehalten wird.

Soll die Einhaltung eines bestimmten Kriteriums (z.B. die Nicht-über- oder -unterschreitung eines Grenzwertes) geprüft werden, dann muss zunächst ein bestimmter Sicherheitsmargin δ um das Kriterium definiert werden. Dieser Sicherheitsmargin muss nach sachlichen und statistischen Kriterien bestimmt werden. Als statistisches Kriterium kann man wiederholte Prüfungen derselben dem Kriterium entsprechenden Räume heranziehen. δ wird dann so gewählt, dass die Wahrscheinlichkeit, die Nullhypothese der Nicht-Entsprechung zu verwerfen, $100\text{-}\alpha$ beträgt, und gleichzeitig der Unterschied zum Kriterium sachlich akzeptabel ist.

Im Fall dieser Nichtunterlegenheitsprüfung wird davon ausgegangen, dass die vorliegende Geruchssituation das gewählte Kriterium nicht erfüllt. Die zugehörige Nullhypothese lautet dann:

$$H_0: \mu - x_{\text{lim}} > \delta \text{ bzw. } H_0: \mu - x_{\text{lim}} < -\delta \text{ (einseitig)}$$

Dabei ist:

μ wahrer Mittelwert der zu prüfenden Geruchssituation

x_{lim} Kriterium, bei dem erfasst werden soll, ob es eingehalten (bei Grenzwert: über- oder unterschritten) ist

Die Verwerfung dieser Hypothese führt zur Annahme der Alternativhypothese H_1 , dass die gegebene Situation dem Kriterium entspricht:

$$H_1: \mu - x_{\text{lim}} \leq \delta \text{ bzw. } H_1: \mu - x_{\text{lim}} \geq -\delta \text{ (einseitig)}$$

Diese Art der Hypothesenprüfung wird im einseitigen Fall Nichtunterlegenheits-(non-inferiority)prüfung genannt.

Die Prüfung erfolgt anhand des Konfidenzintervalls zur Irrtumswahrscheinlichkeit α für $\mu - x_{\text{lim}}$. Dieses wird im Fall bekannter Varianz σ^2 der Wahrnehmungsverteilung wie folgt ermittelt:

$$\bar{x} - x_{\text{lim}} \pm z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{Gleichung 7})$$

Dabei ist:

$\bar{x}$ arithmetischer Mittelwert der mit dem Kriterium (z.B. Grenzwert) zu vergleichenden Geruchssituation

x_{lim} Kriterium, bei dem erfasst werden soll, ob es eingehalten (bei Grenzwert über- oder unterschritten) ist

$z_{100-\alpha}$ der $100\text{-}\alpha$ Perzentil der Standardnormalverteilung

σ als bekannt vorausgesetzte Standardabweichung der Wahrnehmungsverteilung

n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)

Dabei wird das Konfidenzintervall je nach Nullhypothese anhand der oberen oder unteren Grenze (einseitiger Test) beurteilt. Wird die Nullhypothese verworfen, dann kann die Einhaltung des Kriteriums angenommen werden. Kann die Nullhypothese nicht verworfen werden, liegt der Mittelwert aber um weniger als den Margin δ vom Kriterium x_{lim} entfernt, dann kann keine Aussage getroffen werden und es ist die Prüfung erneut durchzuführen (eventuell mit größerem Panel).

Kann die Varianz σ^2 der Wahrnehmungsverteilung nur anhand der n Urteile, aus denen auch der Erwartungswert μ geschätzt wird, mittels der Stichprobenvarianz s^2 geschätzt werden, dann erfolgt die Berechnung des Konfidenzintervalls gemäß folgender Formel:

$$\bar{x} - x_{\text{lim}} \pm t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Gleichung 8})$$

Dabei ist:

- $\bar{x}$ geschätzter Mittelwert der mit dem Kriterium (z.B. Grenzwert) zu vergleichenden Geruchssituation, der gleich ist dem arithmetischen Mittelwert der Einzelwerte
- x_{lim} Kriterium, bei dem erfasst werden soll, ob es eingehalten (bei Grenzwert über- oder unterschritten) ist
- $t_{(100-\alpha, n-1)}$ der 100-Alpha Perzentil der Student t-Verteilung bei $n-1$ Freiheitsgraden (einseitig)
- s Standardabweichung der Einzelwerte der zu vergleichenden Geruchssituation
- n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)

7.4. EXEMPLARISCHE ANWENDUNG DER FEHLERBETRACHTUNG

Erste Untersuchungsergebnisse umfangreicher Untersuchungsprojekte wurden von Santen (2010) und Thumulla (2010) veröffentlicht. Schmidt und Thumulla (2010) haben diese Daten dazu herangezogen, um das im vorliegenden Leitfaden beschriebene Untersuchungsverfahren statistisch zu prüfen. Bezogen auf die untersuchten Prüferpanels wurden bei einer Prüferzahl von 3 erweiterte Messunsicherheiten (bezogen auf den jeweiligen Messbereich) für die Parameter Intensität, Hedonik und Akzeptanz von $< 20\%$ festgestellt. Für den Einsatz von 5 Prüfern liegt die erweiterte Messunsicherheit zwischen 11 und 15%. Die erweiterte Messunsicherheit liegt damit für die beiden untersuchten Prüferpanels in der gleichen Größenordnung wie die der chemischen Analytik.

8. ANFORDERUNGEN AN DIE PRÜFER

8.1. GRUNDANFORDERUNGEN

Da der Einsatz menschlicher Sinnesorgane zu Prüfzwecken von der individuellen Eignung der Prüfperson abhängt, sind in Anlehnung an die ÖNORM S5701 folgende Grundanforderungen an die Prüfer zu stellen:

- Fähigkeit zur objektiven Beschreibung und Analyse von sensorisch wahrnehmbaren Gerüchen,
- Die Fähigkeit zu einer verbalen Beschreibung von Sinneswahrnehmungen,
- die Fähigkeit zur Speicherung von Geruchswahrnehmungen im Gedächtnis
- Keine Beeinträchtigung des Geruchssinnes
- Vertrautheit mit den in Innenräumen zu erwartenden Geruchstoffen.

Für die Gesamtbeurteilung der Ergebnisse von Geruchsprüfungen in Innenräumen muss der leitende Prüfer Sachverständiger für Schadstoffe in Innenräumen sein.

8.2. NACHWEIS DER SENSORISCHEN FÄHIGKEITEN

Personen, die Geruchsprüfungen durchführen, müssen über die notwendigen Qualifikationen für sensorische Prüfungen und eine spezielle Schulung verfügen, sie werden dann als „Prüfer“ bezeichnet. Die erforderlichen sensorischen Fähigkeiten sind in Form einer Zertifizierung nachzuweisen.

Die Auswahl der Personen für sensorische Prüfungen und die Schulungen können auf unterschiedliche Art erfolgen.

Eine Möglichkeit der Auswahl geeigneter Personen für sensorische Prüfungen ist die Prüfung mittels sogenannter Sniffin` Sticks“, die üblicherweise im medizinischen Bereich Verwendung finden (Hummel et al. 1997, Lötsch et al. 2004). Diese ist auch Grundlage für Zertifizierung von Geruchsprüfern durch die AGÖF. Zur Bewertung der individuellen sensorischen Fähigkeiten wird der persönliche Geruchsschwellenwert des Prüfers anhand einer n-Butanol-Verdünnungsreihe ermittelt. Außerdem müssen in dem Test verschiedene Geruchsarten von den Prüfern erkannt und voneinander unterschieden werden. Mit den drei Testergebnissen (Schwellenwert, Diskrimination, Identifikation = SDI) wird in der Summe ein SDI- Wert ermittelt. Die genaue Vorgehensweise des Nachweises der sensorischen Fähigkeiten der Prüfer mittels SDI-Tests wird in ÖNORM S 5701 beschrieben. Die Erfüllung der Qualifikationen dient der Standardisierung in Hinblick auf Geruchserkennung und Geruchsempfindlichkeit. Die Prüfung muss spätestens alle 2 Jahre wiederholt werden.

Geruchsprüfer müssen mindestens einen SDI-Wert von 30 Punkten erreichen. Damit ist gemäß dem eingesetzten Testverfahren gewährleistet, dass der Prüfling zumindest über ein durchschnittliches Riechvermögen verfügt.

Eine Schulung in Bezug auf die Intensität eines Geruchs ist mittels des in ÖNORM S 5701 beschriebenen n-Butanol-Kalibrierstandards möglich. Zum Training des Geruchsgedächtnisses ist die Darbietung typischer Innenraumgerüche hilfreich. Die Tabelle im Anhang 1 kann als Hilfsmittel zur Beschreibung von Gerüchen herangezogen werden.

Auswahl- und Schulungsverfahren, die zu einem gleichwertigen Ergebnis führen, sind ebenfalls zulässig. So kann die Auswahl bzw. Schulung auch mittels eines numerischen Vergleichsmaßstabes durchgeführt werden (HRI 2004). Hinweise zur Grundlagen der Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfung können der DIN 10961 entnommen werden. Die Einzel- und Summenergebnisse der Prüfungen bzw. Schulungen müssen dokumentiert und archiviert werden.

9. DURCHFÜHRUNG DER SENSORISCHEN PRÜFUNG

Der Vorgang der Prüfung der Intensität und Geruchsqualität erfolgt weitgehend analog zu den Vorgaben der ÖNORM S 5701.

9.1. AUSWAHL DER ZU BEPROBENDEN RÄUME UND MESSPUNKTE

Die Auswahl der zu beprobenden Räume und Messpunkte richtet sich, wenn dies nicht schon durch den Auftraggeber vorgegeben ist, nach den örtlichen Verhältnissen und der Raumnutzung. In der Regel werden bevorzugt Räume untersucht, die dem dauernden Aufenthalt von Personen dienen (z. B. Wohnräume, Schlafräume, Büros, Unterrichtsräume, Gruppenräume von Kindergärten). Dabei ist auf mögliche Geruchsquellen wie z. B. Bauprodukte oder Einrichtungsgegenstände sowie auf mit Emissionen verbundene Aktivitäten der Raumnutzer zu achten.

Der leitende Sachverständige legt die Messpunkte im Raum im Voraus fest. In der Regel liegen sie in der Raummitte, in der Mitte des Aufenthaltsbereichs oder an einzelnen Arbeitsplätzen. Abweichungen von dieser Regel können sinnvoll sein, wenn zum Beispiel ein starker Immissionsgradient vermutet wird oder das Ziel der Prüfung die Ermittlung der Geruchsqualität ist. Hier kann eine direkte Bewertung in unmittelbarer Nähe der Quelle durch Beriechen aus kurzer Distanz hilfreich sein.

Eine parallele Prüfung geruchlich unauffälliger Referenzräume erleichtert in vielen Fällen die Bewertung der Prüfergebnisse. Um eine möglichst objektive Prüfung zu gewährleisten, sollte den Prüfern nicht mitgeteilt werden, welche Räume Anlass für Geruchsbeschwerden sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Akzeptanz des Geruches bewertet werden soll.

9.2. ZEITPUNKT UND RANDBEDINGUNGEN DER PRÜFUNG

Unter Berücksichtigung der Nutzerangaben zu Intensität und zeitlicher Varianz der bemängelten Gerüche ist zu entscheiden, wann und unter welchen Randbedingungen die Prüfungen zu erfolgen haben.

Bei konstanten Geruchsbelastungen sollte die Geruchsprüfung mehrere Stunden nach einer gründlichen Lüftung erfolgen. Angaben zu diesen Zeitspannen finden sich z. B. in EN ISO 16000-1 oder im Schulleitfaden des deutschen Umweltbundesamtes (UBA 2008). Zur Durchführung einer Prüfung unter worst-case-Bedingungen sollten die Räume nach einer Grundlüftung mindestens 8 h oder über Nacht nicht gelüftet sein.

Veränderungen der Geruchsintensität können z.B. durch Witterungseinflüsse, Lüftungs- und Heizverhalten sowie unterschiedliche Raumnutzung oder intermittierend auftretende Geruchsquellen hervorgerufen werden.

Bei Geruchsbelastungen, deren Intensität sich über die Zeit verändert, kann die Ermittlung des Intensitätsverlaufs und der Dauer der Geruchsereignisse notwendig sein. In diesem Fall ist es sinnvoll, wiederholt Geruchsprüfungen vorzunehmen. Dabei sollten wenn möglich auch die Extremwerte (Geruchsminima und -maxima) erfasst werden. In mechanisch belüfteten Räumen sind Geruchsprüfungen grundsätzlich bei nutzungsgewöhnlichem Betrieb der Lüftungsanlage durchzuführen. Insbesondere bei zentral gesteuerten Lüftungsanlagen können zusätzlich Prüfungen bei unterschiedlichen Leistungsstufen sinnvoll sein.

Im Rahmen der Messplanung ist sicherzustellen, dass der zu bewertende Geruch nicht durch Fremdgerüche (z.B. Zubereitung aromatisierter Tees, Kaffeegeruch, Parfum), die nicht Gegenstand der Untersuchung sind, überlagert wird.

Wenn überprüft werden soll, ob sich ein Geruch durch Lüften beseitigen lässt, sollte die Prüfung nach einer an die Fragestellung angepassten Zeit nach Beendigung der Lüftung wiederholt werden.

9.3. HERSTELLUNG DER KALIBRIERSTANDARDS

Die Kalibrierstandards für die Kalibrierung der Prüfer vor der Geruchsprüfung werden durch Mischen einer entsprechenden Menge von n-Butanol mit Wasser hergestellt. Das Verfahren ist in ÖNORM S 5701 beschrieben. Das verwendete Butanol muss mindestens Analysenreinheit aufweisen (p. a.) und darf keine geruchsverändernden Verunreinigungen (z. B. Buttersäure) enthalten. Das Wasser muss frei von Gerüchen sein. Im Normalfall erfüllt unbehandeltes (ungechlortes) kaltes Leitungswasser diese Anforderung. Die Mischung erfolgt z. B. durch Einwaage der zum Erzielen des gewünschten Mischungsverhältnisses erforderlichen Menge n-Butanol in einen 100 ml-Glasmesskolben mit Normschliff und Auffüllen mit Wasser. Die anzusetzenden Verdünnungen sind in der Tabelle in Kapitel 9.5.2 Prüfung der Intensität beschrieben. Nach Verschließen des Kolbens mit einem Glasschliffstopfen werden die Flüssigkeiten durch ca. einminütiges Schütteln vermischt. Die so hergestellten Stammlösungen sind gekühlt in der Dunkelheit mindestens ein Jahr haltbar.

Jeweils ein Milliliter eines Kalibrierstandards wird in Schraubdeckelfläschchen mit einem Gesamtvolumen von 4 ml und einem Öffnungsdurchmesser von 10 mm abgefüllt. Als Deckeldichtungen sind teflon- oder aluminiumbeschichtete Silikonsepten geeignet. Derartige Fläschchen werden als Probenfläschchen z. B. bei der gaschromatografischen Untersuchung flüssiger Lösungen verwendet.

Die gebrauchsfertigen Standardfläschchen sind im Kühlschrank aufzubewahren. Auch fachgerecht gelagerte Standardfläschchen sind nur begrenzt haltbar und sollten abhängig von der Nutzungshäufigkeit ausgetauscht werden. Durch Reaktion mit Luftsauerstoff kann sich z. B. Butanol zu Buttersäure umwandeln und die Geruchsintensität und -charakteristik verändern.

9.4. VORBEREITUNG DER PRÜFER AUF DIE SENSORISCHE GERUCHSPRÜFUNG

9.4.1. Allgemeine Anforderungen

Der Prüfer hat bei der sensorischen Geruchsprüfung zu beachten, dass seine Wahrnehmungsfähigkeit durch unterschiedliche Faktoren wie Rauchen, Kaffeeegenuss, Kaugummi, alkoholische Getränke, Verwendung von Parfums, Deos, Zahnpasta und weiteren Körperpflegeprodukten oder aber auch stark gewürzte Speisen beeinflusst werden kann. Deshalb sollte auf diese Produkte und allgemein auf Essen und Trinken (außer Wasser) ab mindestens 2 Stunden vor der Prüfung verzichtet werden.

9.4.2. Kalibrierung des Geruchssinns beim Messziel Intensitätsbestimmung

Der Geruchssinn und die Intensitätswahrnehmung des Prüfers unterliegen zeitlichen Schwankungen. Sie sind sowohl von der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit als auch der physischen und psychischen Verfassung abhängig. Deshalb soll mit einer Kalibrierung die individuelle, tagesformabhängige Wahrnehmungsschwelle der Prüfer vor der Geruchsprüfung anhand der Verdünnungsreihe von n-Butanol ermittelt werden. Bei der Prüfung einer größeren Anzahl von Räumen soll die Kalibrierung wiederholt werden. Es sollen die drei am niedrigsten konzentrierten Standardlösungen herangezogen werden; wenn bei der Prüfung intensive Gerüche zu erwarten sind, sollte auch die am höchsten konzentrierte Standardlösung verwendet werden.

Die Kalibrierung der Prüfer mittels der Kalibrierstandards soll an einem geruchlich unauffälligen Ort bei 19°-25°C durchgeführt werden. Es ist zu verhindern, dass Gerüche in den zu prüfenden Raum übertreten. Die Butanol-Fläschchen sollen vor Beginn der Kalibrierung Raumtemperatur erreichen. Die Standardlösungen müssen von der geringeren zur höheren Intensitätsstufe eingesetzt werden, um eine frühzeitige Adaptation des Geruchssinnes zu vermeiden.

Für die Kalibrierung werden die Fläschchen kurz geöffnet und bis in etwa 1 cm Abstand unter die Nase des Prüfers geführt. Innerhalb von ca. 5 Sekunden soll der jeweilige Geruchseindruck der jeweiligen Intensitätsstufe zugeordnet werden.

Für eine Geruchsprüfung auf Intensität ist vorauszusetzen, dass der Prüfer die Intensitätsnote 1 wahrnehmen kann. Ansonsten ist der Prüfer von der Prüfung auszuschließen.

Die Zuordnung der Konzentrationen von n-Butanol zu den Intensitätsstufen findet man in Tabelle 2 in Kapitel 9.5.2.

9.5. DURCHFÜHRUNG DER DIREKTEN GERUCHSPRÜFUNG

9.5.1. Vorgehensweise zur direkten Geruchsprüfung

Um zu vergleichbaren Prüfergebnissen zu kommen, ist mit Ausnahme des Untersuchungszieles "Ermittlung der Quelle eines festgestellten Geruchs" folgende Vorgehensweise notwendig:

Der oder die Prüfer prüfen die empfundene Luftqualität, indem die Luft unmittelbar nach Erreichen des festgelegten Messortes über einen Zeitraum von ungefähr gleichmäßig über die Nase eingeatmet wird. Unmittelbar danach erfolgt die Beurteilung des wahrgenommenen Geruches hinsichtlich der gewählten Prüfziele (Intensität, Qualität, Hedonik, Akzeptanz). Die ermittelten Ergebnisse werden sofort protokolliert. Dann verlässt der Prüfer den Messort.

Die Beurteilung erfolgt direkt nach dem Betreten der Räume nach dem ersten Eindruck, noch bevor eine Adaptation an die Gerüche im Raum erfolgen kann und die Geruchsempfindung so möglicherweise herabgesetzt wird. Um die Möglichkeit der Adaptation zu klären, kann die Beurteilung nach einem Aufenthalt von einem der Fragestellung angemessenen Zeitraum in dem zu untersuchenden Raum wiederholt werden. Zu diesem Zweck kann eine der Raumgröße angemessene Zahl an Prüfern gleichzeitig im Raum verbleiben (hierbei ist zu beachten, dass schon alleine durch den Aufenthalt der Prüfer eine Veränderung der Geruchssituation gegeben ist). Die ermittelten Ergebnisse werden sofort in einem Bewertungsbogen (siehe Anhang 2) niedergelegt.

Je nach Fragestellung kann es erforderlich sein, den jeweiligen Raum nach einer Phase der Regeneration, die in einem möglichst geruchsneutralen Raum stattfinden muss, mehrmals zu betreten, um den Beurteilungsvorgang zu wiederholen.

Um zu vermeiden, dass sich die Prüfer gegenseitig beeinflussen, dürfen die Prüfer während der Prüfung nicht miteinander kommunizieren. Hierbei ist auch nichtverbale Kommunikation zu vermeiden. Während des Messvorganges dürfen, sofern es die Untersuchungsaufgabe nicht anders erfordert, außer den Prüfern keine weiteren Personen im Raum anwesend sein.

Für die Erfassung der Raumbedingungen sind vom leitenden Sachverständigen Zeitpunkt und Intensität des Lüftens, die Belegung des Raumes mit Personen und gegebenenfalls Haustieren, die Aktivität der den Raum nutzenden Personen sowie ggf. die Leistungsstufe einer raumlufttechnischen Anlage zu protokollieren.

Veränderungen dieser Parameter sind mit der Angabe des Zeitpunktes der Veränderung aufzunehmen. Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit während des Beurteilungsvorganges sind zu erfassen.

9.5.2. Prüfung der Intensität

Für die Bestimmung der Intensität eines Geruchs gibt es grundsätzlich mehrere Verfahrensansätze:

- Die Verwendung von Kategorienskalen unter Hinzuziehung eines Kalibrierstandards.
- Die Verwendung von numerischen Vergleichsmaßstäben (nicht in diesem Leitfaden beschrieben)

Bei der Beurteilung der Intensität wird eine Kategorienskala mit 6 Hauptkategorien (0 bis 5) verwendet. Die Skala beruht auf der an der Universität von Dänemark in Kopenhagen entwickelten Maßeinteilung (Fanger 1988, Bluyssen 1990). Diese Methode ist eine leicht abgewandelte Form der Vorgehensweise, wie sie auch in der VDI 3882 Blatt 1 beschrieben ist. Die Kategorienskala ist weitgehend identisch mit der in der ÖNORM S 5701 beschriebenen Skala. Die Kategorien im Rahmen der quantitativen Prüfung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 2: Intensität des Geruches

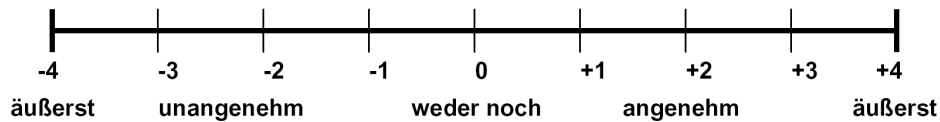
Intensitätsstufe	Verbale Beschreibung der Hauptkategorie	Konzentration n-Butanol in Wasser [mg/l]
0	geruchlos	
0,25		
0,5		
0,75		
1	sehr schwacher Geruch	1.000
1,25		
1,5		
1,75		
2	schwacher Geruch	5.000
2,25		
2,5		
2,75		
3	deutlicher bzw. mittlerer Geruch	25.000
3,25		
3,5		
3,75		
4	starker Geruch	90.000*
4,25		
4,5		
4,75		
5	sehr starker Geruch	-

* entspricht einer gesättigten Lösung: Die Löslichkeit von Butanol in Wasser beträgt bei Raumtemperatur etwa 90 g/l (Gestis-Stoffdatenbank [o.J.])

Die Gesamtbewertung für die Intensität des Geruches errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelergebnisse der Prüfer, wobei diese Zahl auf eine Nachkommastelle zu runden ist.

9.5.3. Prüfung der Hedonik

Die Beurteilung der Hedonik erfolgt in Anlehnung an VDI 3882 Teil 2 als Eindruck unmittelbar nach Betreten des Raumes nach einer ganzzahlig skalierten und ungeteilten Strecke von äußerst unangenehm (-4) bis äußerst angenehm (+4) (siehe Abbildung). Die Prüfer geben Ihre Bewertung durch eine Markierung auf der Skala an.

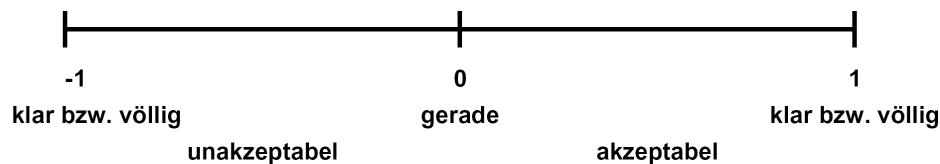


Am Ende der Prüfung werden die genauen Werte mit einem externen Maßstab ermittelt. Die Gesamtbewertung für die Hedonik errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelergebnisse der Prüfer, wobei diese Zahl auf eine Nachkommastelle zu runden ist. Zusätzlich kann, vor allem bei umfangreicheren Untersuchungen, die Erstellung von Polaritätenprofilen nach VDI 3940 Blatt 4 hilfreich sein. Hierbei werden Ähnlichkeiten auftretender Gerüche mit den Profilen der Konzepte „Duft“ bzw. „Gestank“ überprüft.

9.5.4. Prüfung der Akzeptanz

Die Beurteilung der Akzeptanz folgt den in Skandinavien (z. B. Dänemark) praktizierten Verfahren (ECA-IAQ 1999, Clausen 2000). Die Prüfer werden vor dem Betreten des Raumes aufgefordert, dessen Nutzungsart bzw. Widmung bei der Bewertung der Akzeptanz zu berücksichtigen.

Die Beurteilung der Akzeptanz erfolgt als Eindruck unmittelbar nach Betreten des Raumes grafisch nach einer unskalierten, in der Mitte unterteilten linearen Strecke (siehe Abbildung) von völlig unakzeptabel bis völlig akzeptabel. Die Prüfer geben Ihre Bewertung durch eine Markierung auf der Strecke an.



Am Ende der Prüfung wird die nicht skalierte Strecke für die Akzeptanz skaliert (der Aussage klar bzw. völlig unakzeptabel wird der Wert -1 zugeordnet, der Aussage klar bzw. völlig akzeptabel der Wert +1) und die von den Prüfern angegebenen Werte abgelesen. Die Gesamtbewertung für die Akzeptanz errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelergebnisse der Prüfer, wobei diese Zahl auf eine Nachkommastelle zu runden ist.

9.5.5. Beschreibung der Geruchsqualität

Die Beschreibung der Art des Geruches erfolgt nach Möglichkeit anhand der Tabelle aus Anhang 1 „Beschreibung von Geruchsqualitäten“, wobei zur Beschreibung von Mischgerüchen eine Kombination aus mehreren Geruchsqualitäten unter der Bezeichnung „Mischgeruch“ herangezogen werden kann.

Es muss berücksichtigt werden, dass bei manchen Geruchsstoffen eine Abhängigkeit der Art des Geruches von der Geruchsstoffkonzentration gegeben ist.

10. GESAMTBURTEILUNG EINES GERUCHSEREIGNISSES

10.1. ALLGEMEINE VORGEHENSWEISE

Die Gesamtbeurteilung eines konkreten Raumes erfolgt mittels einer situativ-integrativen Bewertung durch den die Untersuchung leitenden Sachverständigen.

1. Es werden die Gesamtbewertungen der Intensität, Qualität, Akzeptanz und Hedonik durch die Einzelprüfer sowie die eigene Beurteilung der Gesamtsituation als Basis herangezogen.
2. Die bei der Befragung ermittelten zusätzlichen Informationen (Geruch dauernd vorhanden oder intermittierend, Verlauf der Intensität etc.), die physikalischen Randparameter der Prüfung, sowie die Nutzung bzw. Widmung des Raumes sind zu berücksichtigen. Es ist zu berücksichtigen, dass der Kontext, im Rahmen dessen die Geruchsprüfung stattfindet, gegebenenfalls in die Beurteilung der Akzeptanz mit eingeht.
3. Die Ergebnisse ergänzender Bewertungsverfahren fließen gegebenenfalls in die Beurteilung ein.

Eine orientierende Bewertung der Situation durch einen einzelnen Prüfer setzt große Erfahrung mit Geruchsprüfungen voraus und eignet sich methodenbedingt nur in eindeutigen Fällen für eine abschließende Beurteilung.

10.2. EINFLUSSFAKTOREN

10.2.1. Zeitraum seit der Erstellung des Raumes

Bei der Untersuchung und Bewertung von Gerüchen müssen Bau- und Einrichtungsalter, der Bauzustand und der Zeitpunkt der letzten Gebäude- und Innenraumveränderung berücksichtigt werden.

In einem Zeitraum bis zu etwa 4 bis 6 Wochen nach der Erstellung bzw. Sanierung eines zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudebereiches kann es sich bei den im Untersuchungsbereich feststellbaren Gerüchen um übliche, herstellungsbedingte und zeitlich begrenzte Emissionen von Baustoffen handeln, deren Abklingverhalten in der Bewertung zu berücksichtigen ist. Das Abklingverhalten ist von der Materialart und dem Einbringverfahren (Applikation) abhängig.

10.2.2. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Die bei der Prüfung eines Innenraumes gegebene Raumtemperatur und die Luftfeuchtigkeit kann das Ausmaß von Geruchsemissionen aus Materialien maßgeblich verändern. Beide Klimaparameter wirken sich auch auf die sensorische Wahrnehmung von Gerüchen aus (Fang 1997).

10.2.3. Windgeschwindigkeit und Luftwechsel

Die Windgeschwindigkeit im Außenbereich, Temperatur- und Luftdruckdifferenz innen/außen sowie weitere Faktoren können einen maßgeblichen Einfluss auf den

Luftwechsel (Tappler et al. 2006, 2008) und damit auch auf die Geruchsintensität haben. Durch klimatische Parameter oder von den Nutzern verursachte Druckunterschiede im Gebäude selbst (Aufzüge, geöffnete Türen) können dazu führen, dass Gerüche nur intermittierend auftreten.

10.2.4. Nutzung des Raumes

Die Akzeptanz eines Geruches in einem Innenraum hängt u.a. von dessen Nutzung ab. Von zum ständigen Aufenthalt bestimmten Innenräumen wie Schlaf- und Wohnräumen, Büros, Schulräumen oder sonstigen Aufenthaltsräumen wird eine höhere Qualität in Hinblick auf die Luftqualität verlangt als von Nebenräumen, die nur fallweise betreten und benutzt werden.

10.2.5. Bewusste oder erwartete Freisetzung von Gerüchen

Besondere Maßstäbe sind dann anzulegen, wenn die Freisetzung der Geruchsstoffe bewusst erfolgt (z. B. Beduftungsmaßnahmen) oder bei der gegenständlichen Tätigkeit als unvermeidbare Begleiterscheinung auftritt (z. B. freigesetzte Gerüche im Zuge von Reinigungsarbeiten). In diesen Fällen ist zwischen einer für die jeweilige Maßnahme üblicher (von der Zeit ab Einbringung in den Innenraum abhängiger) Geruchsintensität bzw. -qualität und unüblich hoher Geruchsintensität bzw. untypischer Geruchsqualität zu unterscheiden.

Einfluss auf die Bewertung nimmt auch, ob der Geruch als erwartete und damit allgemein akzeptierte Eigenschaft des angewendeten Bauproduktes oder Materials angesehen wird. Beispiele sind der charakteristische Geruch eines Linoleumbodens, der Geruch nach Holz bei Holzhäusern oder der Geruch nach Leinöl bei bestimmten Naturstoffen. Auch hier ist zwischen einer für das jeweilige Material üblicher (von der Zeit ab Einbringung in den Innenraum abhängiger) Geruchsintensität und unüblich hoher Geruchsintensität zu unterscheiden.

10.3. BEURTEILUNG DER ZUMUTBARKEIT

Das Gesamtergebnis für die Feststellung, ob eine Belästigung bzw. hygienischer Mangel) vorliegt, wird mit dem Begriff der Zumutbarkeit zusammengefasst. Die Zumutbarkeit ist eine Konvention, die neben Intensität, Hedonik und Akzeptanz des Geruchs die Nutzung bzw. Widmung des betreffenden Raumes, den Zeitraum, der seit Ausstattung eines Raumes vergangen ist und eine Bewertung der Geruchsquelle selbst berücksichtigt.

Bei der Durchführung der Bewertung ist zu berücksichtigen, ob die Art der Nutzung bereits bei der Erhebung der Akzeptanz eingeflossen ist, ob die Freisetzung des Geruches bewusst erfolgte oder ob der Geruch erwartet oder eine allgemein akzeptierte Eigenschaft der Quelle des Geruches ist.

Die folgenden Beurteilungsvorschläge sind nicht rein formal anzuwenden, sondern ist als Grundlage einer situativ-integrativen Bewertung anzusehen.

Unmittelbar nach Errichtung bzw. Ausstattung eines zur dauernden Nutzung bestimmten Innenraumes sind abhängig von den eingesetzten Materialien Gerüche mit stärkerer Intensität möglich und werden in der Regel nicht als unzumutbarer Zustand bewertet. Als deutlich unangenehm empfundene Gerüche sind jedoch auch in diesem Zeitraum nicht zumutbar.

Bis zu einem Zeitpunkt von etwa 4 bis 6 Wochen nach Errichtung bzw. Ausstattung eines zur dauernden Nutzung bestimmten Innenraumes werden maximal deutliche bzw. mittlere Gerüche (Intensitätsstufe 3) in der Regel als zumutbar bewertet, sofern sie nicht als unangenehm klassifiziert werden. Stärkere Geruchsintensitäten werden als nicht zumutbar bewertet.

Bei zur dauernden Nutzung bestimmten Innenräumen, deren Errichtung bzw. Ausstattung mehr als 4 bis 6 Wochen zurückliegt, werden in der Regel abhängig von der Hedonik maximal schwache Gerüche (Intensitätsstufe 2) als zumutbar bewertet. Deutliche bzw. mittlere Geruchsintensitäten bzw. als unangenehm oder als untypisch klassifizierte Gerüche werden in der Regel als nicht zumutbar bewertet. Diese Bewertung gilt auch für dauernd genutzte Innenräume, deren Vorgeschichte in Bezug auf Ausstattung oder Errichtung nicht bekannt ist.

Wenn in einem Raum bzw. einem Gebäude Materialien wie Holz, Fußbodenwache, Bodenbeläge usw. eingesetzt wurden, können deren „typische“ Gerüche in der Planung bewusst vorgesehen oder in Kauf genommen worden sein. Bei Neubauten und frisch renovierten Bereichen sind ggf. die von der Planung vorgegebenen Materialien und Konstruktionen zu berücksichtigen, um damit geplante von nicht geplanten geruchsbildenden Komponenten unterscheiden zu können. In der Regel bestehen für geplante und visuell einer Quelle zuordenbare Gerüche (z.B. Linoleum, Teppichboden) andere Akzeptanzschwellen als für nicht geplante.

10.4. BEWERTUNG DES SANIERUNGSERFOLGES

Der Erfolg einer Sanierungsmaßnahme wird anhand der Parameter Intensität, Hedonik und Akzeptanz sowie der Begleitumstände (Nutzungshäufigkeit, Nutzungsart...) bewertet. Der Sanierungserfolg kann in der Regel bestätigt werden, wenn nach 4-6 Wochen nach der Maßnahme die im Vorfeld der Sanierung definierten Sanierungsziele erfüllt sind. Zur Beurteilung, ob der Sanierungserfolg dauerhaft ist, kann es notwendig sein, nach einigen Monaten eine weitere Prüfung durchzuführen.

10.5. BEWERTUNG IM RAHMEN EINER GEBÄUDEZERTIFIZIERUNG

Die sensorische Geruchsprüfung als Bestandteil einer Gebäudezertifizierung sollte mindestens die Parameter Intensität, Hedonik und Akzeptanz unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren (siehe Kap. 10.2) umfassen. Die Bewertungskriterien sind vorher festzulegen und im Ergebnis mit anzugeben.

10.6. ERGÄNZENDE BEWERTUNGSVERFAHREN

Für eine Gesamtbeurteilung eines Geruchseignisses kann es fallweise sinnvoll sein, ergänzende Bewertungsschemata hinzuzuziehen. Hier können beispielsweise Orientierungswerte oder Geruchsschwellenwerte für die Bewertung von chemischen Analyseergebnissen, eine alternative sensorische Laborauswertung oder auch ein Vergleich mit rechtlichen Vorgaben aus dem Außenluftbereich hilfreich sein.

- AGÖF-Orientierungswerte (AGÖF 2008)
- Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) beim Umweltbundesamt und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landes-

gesundheitsbehörden (AOLG) – siehe insbesondere Basisschema von 1996 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1996); weitere Richtwerte sind zusammengestellt unter <http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>

- Verfahren der DIN EN 13725 – Luftbeschaffenheit, Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie
- Verfahren von Fanger und Bluysen (Fanger 1988, Bluysen 1990)
- Klassifizierung der Raumluftqualität nach EN 13779 (2008) Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme
- Tabellen mit Geruchsschwellenwerten, zusammengefasst z. B. in VOCBASE (Jensen & Wolkoff 1996), siehe auch WHO 2000
- Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL 2008)
- VDI 3882 Blatt 1 (1992): Olfaktometrie; Bestimmung der Geruchsintensität
- VDI 3882 Blatt 2 (1994): Olfaktometrie - Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung
- VDI 3883 Blatt 1 (1997): Wirkung und Bewertung von Gerüchen - Psychometrische Erfassung der Geruchsbelastigung – Fragebogentechnik. (überprüft und bestätigt 2003)
- VDI 3940 Blatt 4 Entwurf (2008): Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile
- Verfahren des Hermann-Rietschel-Instituts (HRI 2004, Müller et al. 2004)
- DIN EN 15251 (2007) Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
- Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG 2002)
- Technische Anleitung Luft (TA Luft 2002)

11. PRÜFBERICHT

Der Prüfbericht muss mindestens enthalten:

- Ort der Prüfung
- Datum und Uhrzeit der Prüfung
- Angaben zum eingesetzten Verfahren
- Angabe des die Untersuchung leitenden Sachverständigen
- Anzahl der Prüfer
- Umgebungsbedingungen (z. B. Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit, Lüftungsverhalten, Außenluftbedingungen)
- Angabe weiterer möglicher Einflussfaktoren auf die Bewertung

- Angabe von für die Fragestellung relevanten Beobachtungen (wie z. B. wahrgenommene Gerüche in angrenzenden Räumen oder im Außenbereich)
- Ergebnisse der sensorischen Geruchsprüfung in Hinblick auf die ermittelten Messgrößen; bei mehreren Prüfern ist zumindest der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der Gesamtergebnisse anzugeben, die Einzelergebnisse der Prüfer können aufgelistet werden
- Ergebnisse der Beschreibung der Geruchsqualität; die Einzelergebnisse der Prüfer sind kumulativ aufzulisten
- Für die Einstufung der Genauigkeit der Prüfung soll das Konfidenzintervall für die einzelnen Messgrößen angegeben werden.
- Ergebnisse weiterer Bewertungsverfahren

12. LITERATUR

Ad-hoc-Arbeitsgruppe (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Erarbeitet von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene der AGLMB. Bundesgesundheitsblatt 39(11), 422-426

AGÖF (2008): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Internet vom 17.07.2010:

http://agoef.de/agoef/oewerte/photoarchiv/pdfs/AGOEF_Orientwerte

BImSchG (2002): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG). In der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I: 3830), zuletzt geändert am 11. August 2009 (BGBl. I: 2727: Artikel 2)

Bluyssen P (1990): Air Quality Evaluated by a Trained Panel. PhD thesis. Technical University of Denmark, Lyngby

BMLFUW (2009): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Kommission für Reinhaltung der Luft der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Wien: Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft. Loseblatt-Ausgabe

Clausen G (2000): Sensory evaluation of emissions and indoor air quality. In: Proceedings of Healthy Buildings 2000. Helsinki, Finnland. Vol 1: 53-62

Damberger B, Tappler P, Jansson M, Twrdik F (2004): Der n_{10} -Wert zur Erfassung von Luftströmungen in Gebäuden und Geruchsquellen – Erfahrungen, Vorgangsweise, Ausblick. In: Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Innenraumhygiene, Raumluftqualität und Energieeinsparung; Ergebnisse des 7. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 04. und 05. März 2004 in München. Springe-Eldagsen: 272-277

DIN 10950 Teil 1 (1999): Sensorische Prüfung – Teil 1: Begriffe. Berlin: Beuth

DIN 10950 Teil 2 (2000): Sensorische Prüfung – Teil 2: Allgemeine Grundlagen. Berlin: Beuth

DIN 10961 (1996): Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfung. Berlin: Beuth

DIN EN 13725 (2003): Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003. Berlin: Beuth

DIN EN 13725 Berichtigung 1 (2006): Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003, Berichtigungen zu DIN EN 13725:2003-07; Deutsche Fassung EN 13725:2003/AC:2006. Berlin: Beuth

DIN EN 13779 (2007): Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme. Berlin: Beuth

DIN EN 15251 (2007): Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Berlin: Beuth

DIN EN ISO 16000-1 (2006): Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie. Berlin: Beuth

ECA-IAQ (1999): Sensory Evaluation of Indoor Air Quality. Report No 20. EUR 18676 EN. European Collaborative Action – Indoor Air Quality & its impact on man (ECA-IAQ). European Commission Joint Research Centre, Environment Institute. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Internet vom 17.07.2010: http://www.inive.org/medias/ECA/ECA_Report20.pdf

Fang L (1997): Impact of Temperature and Humidity on Perceived Indoor Air Quality, PhD thesis. Technical University of Denmark, Copenhagen

Fanger PO (1988): Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. Energy and Buildings 12(1), 1-6

Fischer J, Engler N, Seifert B (1998): Luftverunreinigungen und geruchliche Wahrnehmungen unter besonderer Berücksichtigung von Innenräumen, WaBoLu-Hefte 1/98, Hrsg.: Umweltbundesamt - Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, 1ff

Gestis-Stoffdatenbank (2010): Stoffdatenblatt 1-Butanol, Kapitel: Physikalisch-chemische Eigenschaften. In: Gestis-Stoffdatenbank. Internet vom 17.07.2010: <http://www.dguv.de/bgia/de/gestis/stoffdb/index.jsp>

GIRL (2008): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW). Fassung vom 29. Februar 2008 und Ergänzt. vom 10. Sept. 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen (Erlass) vom 29. Februar 2008. Internet vom 17.07.2010: <http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/6/dokus/61101.pdf>

Gunnarsen, L, Bluysen Ph (1994): Sensory Measurements Using Trained and Untrained Panels, Healthy Building 94, Budapest

HRI (2004): Handbuch zur Messung der empfundenen Luftqualität. Hermann-Rietschel-Institut. Internet vom 17.07.2010: http://www.tu-berlin.de/fileadmin/fg111/forschung/Luftqualitaet/LQ_Handbuch_v08.pdf

Hummel T, Sekinger B, Wolf S, Pauli E, Kobal G (1997): ‘Sniffin’ Sticks’: olfactory performance assessed by the combined testing of odor identification, odor discrimination and olfactory threshold. *Chem. Senses* 22, 39–52

Jensen B & Wolkoff P (1996): VOCBASE, Odour Thresholds, Mucous Membrane Irritation Thresholds and Physio-Chemical Parameters of Volatile Organic Compounds. CD-ROM. Copenhagen: National Institute of Occupational Health

LfU Bayern (2008): Gerüche und Geruchsbelästigungen. Infozentrum UmweltWissen. Internet vom 17.07.2010:

http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_23_geruchsbelaestigungen.pdf

Lötsch J, Lange C & Hummel T (2004): A simple and reliable method for clinical assessment of odor thresholds. *Chem. Senses* 29, 311-317

Müller D, Bitter F, Böttcher O, Kasche J & Müller B (2004): Neue Systematik zur Bewertung der empfundenen Luftqualität. *HLH* 55(12), 52-57

ÖNORM S 5701 (2008): Sensorische Bestimmung der Intensität und Art von Gerüchen in der Innenraumlufte – Anforderungen für Vor-Ort-Prüfungen. Wien: ON Österreichisches Normungsinstitut

Pettenkofer M von (1858): Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. München: Cotta, 72

Pöhle H (1994): Geruchsemission bei der Kompostierung von Bioabfällen. Dissertation. Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig, 94 f.

Santen, M (2010): Geruchsbegehungen im Rahmen der Sanierung historischer Gebäude in der Speicherstadt in Hamburg, in: Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche, Sanierung Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe 2010.

Schmidt M, Thumulla J (2010): Fehlerbetrachtung von Geruchsprüfungen anhand exemplarischer Auswertungen durchgeführter Untersuchungsprojekte,

Schön M & Hübner R (1996): Geruch: Messung und Beseitigung. Würzburg: Vogel

TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz: (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. Internet vom 17.07.2010:

<http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/taluft.pdf>

Tappler P, Damberger B, Twrdik F, Mitterer K (2006): Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen für die Erarbeitung von Vorgaben der Publikation „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufte“. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Internet vom 17.07.2010: <http://www.innenraumanalytik.at/Newsletter/luftwechselstudie2006.pdf>

Tappler P (2007): Erstellung einer Richtlinie/Leitfaden zur Bewertung von Gerüchen in Innenräumen. In: Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Innenraumschadstoffe, Fogging und Gerüche; Ergebnisse des 8. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 19. und 20. September 2007 in Fürth/Bay. Springer-Eldagsen: AGÖF, 242-252

Tappler P, Damberger B, Twrdik F, Mitterer K (2008): Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen. Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft, März 2008. Springer Verlag. 87-91

Theuer W, Sprinzl A, Tappler P (1995): Luftverunreinigungen in Innenräumen. Wien: Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen

Thumulla J (2010) : Erste Praxiserfahrungen zur Anwendung des AGÖF-Leitfadens zur Sensorischen Bestimmung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen im Neubau eines Bürogebäudes mit multifaktoriellen Geruchsproblemen, in: Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche, Sanierung Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe 2010.

VDI 3882 Blatt 1 (1992): Olfaktometrie; Bestimmung der Geruchsintensität. Berlin: Beuth

VDI 3882 Blatt 2 (1994): Olfaktometrie - Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung. Berlin: Beuth

VDI 3883 Blatt 1 (1997): Wirkung und Bewertung von Gerüchen - Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung - Fragebogentechnik. Berlin: Beuth

VDI 3940 Blatt 4 Entwurf (2008): Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile. Berlin: Beuth

WHO (2000): Air Quality Guidelines for Europe. 2. ed. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. (WHO Regional Publications. European Series 91). Internet vom 17.07.2010: <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>

Wichmann HE, Schlipköter HW & Fülgraff G (Hg.) (1992 ff.): Handbuch der Umweltmedizin: Toxikologie, Epidemiologie, Hygiene, Belastungen, Wirkungen, Diagnostik, Prophylaxe. 40. Ergänzungslieferung 12/2008. Landsberg/Lech: ecomed

Yaglou CP, Riley EC & Coggins DI (1936): Ventilation requirements (Part 1). ASHVE Transactions 42,133-162

13. ANHÄNGE

13.1. ANHANG 1: BESCHREIBUNG VON GERUCHSQUALITÄTEN

Geruchsqualität	Referenz (ähnlich wie)	CAS	Weitere Beschreibung
butterartig	2,3-Butandion	431-03-8	
ranzig/ käsig	Buttersäure	107-92-6	
fettig	Z-2-Nonenal	60784-31-8	Fette, Öle
	E-2- Nonenal	18829-56-6	
malzig	3-Methylbutanal	590-86-3	Brot, Malz
röstig	2-Acetyl-1-pyrrolin	99583-29-6	Popkorn
rauchig/geräuchert	2-Methoxyphenol	90-05-1	rauchiger Speck
kohlartig	Diethyldisulfid	110-81-6	
karamellartig	4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanon	79-31-2	
mandel-/marzipanartig	Benzaldehyd	100-52-7	
fruchtig, apfelartig	Ethylpentanoat	539-82-2	
fruchtig, ananasartig	Ethyl-2-methylbutanoat	7452-79-1	
fruchtig- stechend	Acetaldehyd	75-07-0	Mirabellenbrand
citrusartig	Limonen	138-86-3	Zitronenschalenöl
essigartig	Essigsäure	64-19-7	
ziegenartig	Capronsäure	142-62-1	
alkoholisch	Iso-Propanol	67-63-0	
kiefernholzartig/ harzig	α - Pinen	7785-70-8	frisches, harziges Nadelholz
spanplattenartig			
korkartig			
kartoffelartig	Methional	3268-49-3	
erdig	2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazin	13925-07-0	
heuartig, feuchtes Papier	6-Isopropylchinolin	135-79-5	
fischig	Trimethylamin	75-50-3	feuchte Glaswolle
pilzartig	1-Octen-3-ol	3687-48-7 3391-86-4	Champignon, Waldboden
schimmelig/modrig	Geosmin	19700-21-1	feuchter Keller

Geruchsqualität	Referenz (ähnlich wie)	CAS	Weitere Beschreibung
muffig	2,4,6-Trichloranisol	87-40-1	altes Fertighaus, „Korkgeruch“
faulig	Methanthiol (Methylmercaptan)	74-93-1	fauler Kohl, Schlachthof
urinartig	Ammoniak	7664-41-7	Stallgeruch
fäkalienartig	Dimethylsulfid	75-18-3	
verwesungsartig	Kadaverin (Diaminopentan)	462-94-2	
schweißig (verschwitzt)	Isovaleriansäure	503-74-2	
wachsartig	Paraffin	Gruppe	
leinölartig	höhere Aldehyde	Gruppe	
linoleumartig	höhere Aldehyde	Gruppe	
seifig			unparfümierte Kernseife
möbellackartig	Butylacetat	123-86-4	
lederartig			
phenolisch	o- Kresol	95-48-7	Sherry
mottenkugelartig	Naphthalin	91-20-3	
carbolineumartig	PAK	Gruppe	Bahnschwellen
teerartig	Methylnaphtaline	Gruppe	
bitumenartig	Bitumen		
betonartig	ausgehärteter Beton		
gipsartig	ausgehärteter Gips		
kunststoffartig	1-Hexen-3-on	592-41-6	
latexartig	4-Phenylcyclohexen	4994-16-5	textiler Bodenbelag
gummiartig	4-Chlor-2-isopropyl-5-methyl-phenol	89-68-9	
Styrol, stechend	Styrol	100-42-5	
chlorartig			„Schwimmbad“
lösungsmittelartig,aromatisch	Toluol	108-88-3	
Lösungsmittelartig, süßlich	Ethylacetat	141-78-6	Nagellackentferner
heizöl- dieselartig	längerkettige Alkane	Gruppe	
Brandgeruch	Schwefel-Stickstoff-Heterocyclen	Gruppe	
alter Tabakrauch	Schwefel-Stickstoff-Heterocyclen		

13.2. ANHANG 2: VORSCHLAG FÜR EIN GERUCHSBEWERTUNGSFORMULAR

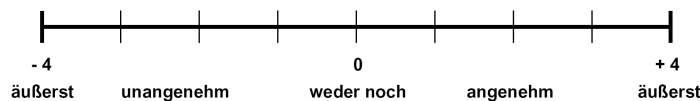
Projekt-Nr.:		Auftraggeber	
Datum:		Beginn der Prüfung:	
Anlass der Prüfung		Ende der Prüfung:	
Prüfer:		Letzter Abgleich mit n-Butanol	
Ort der Prüfung		Temperatur (°C)/	
Raumbezeichnung		Rel. Luftfeuchtigkeit (%)	

1. **Intensität:** Bitte beurteilen Sie im Raum auftretende Gerüche in ihrer **Stärke** nach einer Skala von 0 bis 5. Zwischenwerte in Abstufungen von 0,25 sind möglich

Note	Beschreibung der Intensität	Intensität:
0,00	Geruchlos	
1,00	Sehr schwacher Geruch	
2,00	Schwacher Geruch	Anmerkungen:
3,00	Deutlicher bzw. mittlerer Geruch	
4,00	Starker Geruch	
5,00	Sehr starker Geruch	

2. **Qualität:** Bitte beurteilen Sie die im Raum auftretenden Geruchsarten, mit den Beschreibungen wenn möglich nach Anhang 1 des Leitfadens „Geruchsqualitäten“.

3. **Hedonik:** Sie befinden sich als Nutzer in dem Raum. Wie empfinden Sie die Luftqualität in diesem Raum? Für die Bewertung verwenden Sie bitte diese Skala:



4. **Akzeptanz:** Stellen Sie sich vor, Sie müssten in Ihrem täglichen Lebensumfeld diesen Raum häufig nutzen. Würden Sie den Geruch in diesem Raum unter Berücksichtigung der gegebenen Raumnutzung/-widmung als akzeptabel betrachten? Für die Bewertung verwenden Sie bitte diese Skala:



13.3. ANHANG 3: BERECHNUNGSBEISPIELE STATISTIK

13.3.1. Ermittlung der Standardunsicherheit eines Panels

Angenommen das Panel besteht aus 4 Prüfern, die bereits 7 verschiedene Situationen geprüft haben. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in Tabelle A enthalten.

Tabelle 13.1: Beispiel eines Panels aus 4 Prüfern, das in 7 Fällen eine Geruchsprüfung vorgenommen hat

	Prüfer Parameter	1	2	3	4	Mittelwert	Standard- abweichung
Prüfung 1	Intensität	2	4	2	3	2,8	0,96
	Hedonik	-3	-2	-3	-5	-3,3	1,26
	Akzeptanz	-0,4	0	-0,1	-0,2	-0,18	0,17
Prüfung 2	Intensität	2	1	3	3	2,3	0,96
	Hedonik	-3	-4	-5	-2	-3,5	1,29
	Akzeptanz	0	-0,3	-0,5	-0,4	-0,30	0,22
Prüfung 3	Intensität	4	3	3	3	3,3	0,50
	Hedonik	4	2	5	2	3,3	1,50
	Akzeptanz	0,3	0	0	0	0,08	0,15
Prüfung 4	Intensität	1	0	1	0	0,5	0,58
	Hedonik	0	0	-3	-1	-1,0	1,41
	Akzeptanz	0	-0,1	0,1	0	0,00	0,08
Prüfung 5	Intensität	2	3	2	4	2,8	0,96
	Hedonik	3	1	3	1	2,0	1,15
	Akzeptanz	-0,2	-0,2	-0,1	0	-0,13	0,10
Prüfung 6	Intensität	5	3	4	4	4,0	0,82
	Hedonik	-1	-3	-1	-4	-2,3	1,50
	Akzeptanz	-0,5	-0,3	-0,4	-0,2	-0,35	0,13
Prüfung 7	Intensität	1	0	0	0	0,3	0,50
	Hedonik	-4	-4	0	-4	-3,0	2,00
	Akzeptanz	0	-0,1	0,1	0	0,00	0,08

Die gepoolte Standardabweichung errechnet sich aus der Gleichung (3):

$$s_{\text{pool}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{k}}$$

Dabei ist k in diesem Fall 7 und s_i ($i = 1, \dots, 7$) sind die Standardabweichungen der Intensitäts-, Hedonik- und Akzeptanzurteile der 4 Prüfer. Daraus ergibt sich als gepoolte Standardabweichung für die Intensität 0,78, für die Hedonik 1,47 sowie für die Akzeptanz 0,14.

Die Standardunsicherheit ergibt sich durch Division der gepoolten Standardabweichung durch die Wurzel der Anzahl Prüfer (in diesem Fall bei 4 Prüfern also durch Division durch 2): 0,39, 0,73 und 0,07 für die drei Parameter der Geruchsprüfung.

13.3.2. Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen

Beispiel A: Nehmen wir an, es soll geprüft werden, ob in einem Prüffall die Intensität des Geruchs den in der ursprünglichen Situation ermittelten Wert von 3 überschreitet. Der Lageparameter der Wahrnehmungsverteilung der vorgegebenen Situation, zu der der möglicherweise bestehende Unterschied erfasst werden soll, ist also 3.

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

$H_0: \mu = 3$ (die Intensität des Geruchs unterscheidet sich nicht vom in der ursprünglichen Situation ermittelten Wert)

und die Alternativhypothese:

$H_1: \mu > 3$ (einseitige Hypothese)

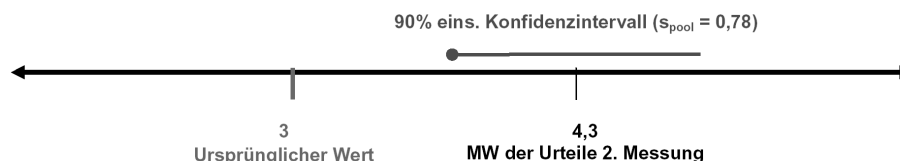
Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

Nehmen wir an, dass der wahre Wert der Verteilung der Urteile des Prüferpanels (Streuung) bekannt ist. Der 100-Alpha = 90-te Perzentil der Standardnormalverteilung beträgt 1,28 und dieser Wert legt somit die untere Grenze für die Verwerfung der Nullhypothese fest. Wir nehmen an, dass die 4 Geruchsprüfer des oben gegebenen Beispiels den Raum geprüft haben und dass sich ein Mittelwert der Intensitätsurteile von 4,3 ergeben hat. Wir setzen die Standardabweichung der Intensitätsurteile als bekannt voraus, indem wir den Wert der gepoolten Standardabweichung $s_{\text{pool}} = 0,78$ als den wahren Wert der Verteilung der Intensitätsurteile des Prüferpanels σ voraussetzen.

Die Prüfgröße u errechnet sich aus der Gleichung (5):

$$u = \frac{(\bar{x} - \mu_c) \sqrt{n}}{\sigma}$$

Einsetzen in Gleichung (5) ergibt: $u = (4,3 - 3) \cdot 2 / 0,78 = 3,333$. Dieser Wert ist größer als der Prüfwert von 1,28 und daher verwerfen wir die Nullhypothese und nehmen an, dass die Geruchsintensität in dem geprüften Raum bei der neuerlichen Prüfung größer als der ursprüngliche Wert 3 ist.



Beispiel B: Nehmen wir wie im vorigen Beispiel A an, es soll geprüft werden, ob in einem Prüffall die Intensität des Geruchs den in der ursprünglichen Situation ermittelten Wert von 3 überschreitet. Der Lageparameter der Wahrnehmungsverteilung der vorgegebenen Situation, zu der der möglicherweise bestehende Unterschied erfasst werden soll, ist also 3.

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

$H_0: \mu = 3$ (die Intensität des Geruchs unterscheidet sich nicht vom in der ursprünglichen Situation ermittelten Wert)

und die Alternativhypothese:

$H_1: \mu > 3$ (einseitige Hypothese)

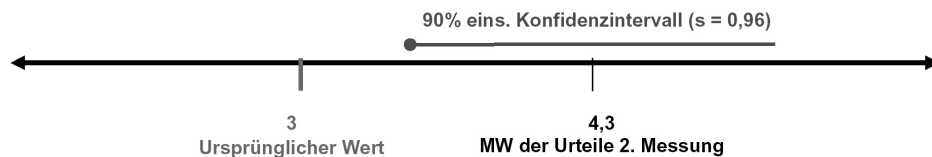
Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

Setzen wir in diesem Beispiel nicht voraus, dass die Varianz der Intensitätsurteile bekannt ist, indem wir auf die gepoolte Schätzung zahlreicher Urteile des gleichen Panels zurückgreifen können, sondern dass die Urteile von anderen 4 Prüfern stammen. Wir nehmen an, dass sich ein Mittelwert der Intensitätsurteile von 4,3 ergeben hat. Wir benötigen in diesem Fall die Angabe der Standardabweichung der 4 Urteile, von der wir annehmen, dass sie 0,96 beträgt. Bei 4 Prüfern haben wir 3 Freiheitsgrade und der 100-Alpha = 90-te Perzentil der Student t-Verteilung (einseitig) beträgt 1,64.

Die Prüfgröße T errechnet sich aus der Gleichung (6):

$$T = \frac{(\bar{x} - \mu_c) \sqrt{n}}{s}$$

Einsetzen in Gleichung (6) ergibt für den Prüfwert T : $(4,3-3) \cdot 2/0,96 = 2,71$ und der Prüfwert T überschreitet somit den kritischen Wert von 1,64. Wir können also auch in diesem Fall die Nullhypothese verwerfen und nehmen an, dass der geprüfte Raum bei der neuerlichen Prüfung eine Geruchsintensität über dem ursprünglichen Wert von 3 besitzt.



Beispiel C: Nehmen wir wie in den vorigen Beispielen A und B an, es soll geprüft werden, ob in einem Prüffall die Intensität des Geruchs den in der ursprünglichen Situation ermittelten Wert von 3 überschreitet. Der Lageparameter der Wahrnehmungsverteilung der vorgegebenen Situation, zu der der möglicherweise bestehende Unterschied erfasst werden soll, ist also 3.

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

$H_0: \mu = 3$ (die Intensität des Geruchs unterscheidet sich nicht vom in der ursprünglichen Situation ermittelten Wert)

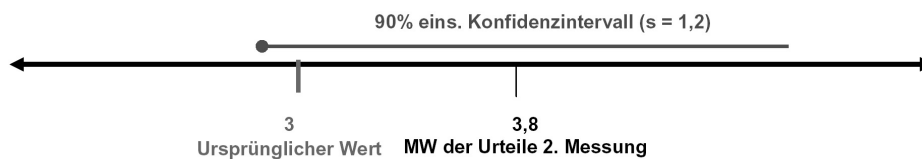
und die Alternativhypothese:

$H_1: \mu > 3$ (einseitige Hypothese)

Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

Setzen wir auch in diesem Beispiel nicht voraus, dass die Varianz der Intensitätsurteile bekannt ist, indem wir auf die gepoolte Schätzung zahlreicher Urteile des gleichen Panels zurückgreifen können. Nehmen wir an, dass diese anderen 4 Prüfer ein durchschnittliches Intensitätsurteil von 3,8 bei einer Standardabweichung von 1,2 abgegeben haben. Bei 4 Prüfern haben wir 3 Freiheitsgrade und der 100-Alpha = 90-te Perzentil der Student t-Verteilung (einseitig) beträgt wie in Beispiel B 1,64.

Die Prüfgröße T errechnet sich wieder aus der Gleichung (6). Einsetzen in diese Gleichung ergibt für den Prüfwert T : $(3,8-3)*2/1,2 = 1,33$ und der Prüfwert T unterschreitet somit den kritischen Wert von 1,64. Wir können also in diesem Fall die Nullhypothese nicht verwerfen. Ob der geprüfte Raum bei der neuerlichen Prüfung eine Geruchsintensität über dem ursprünglichen Wert von 3 besaß, ist jedoch auch nicht auszuschließen. Wir können nun die Prüfung mit einem größeren Panel wiederholen, um eine klare Entscheidung bezüglich der Unterscheidbarkeit der beiden Prüfungen zu erreichen.



13.3.3. Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines bestimmten Kriteriums (Grenzwert)

Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir für alle Beispiele 10% zugrunde. Beispiele D bis F beziehen sich auf Akzeptanzbewertungen (Nichtunterschreitung eines akzeptablen Wertes), Beispiele G und H beziehen sich auf Intensitätsbewertungen (Nichtüberschreitung eines Grenzwertes)

Beispiel D: Wir nehmen an, dass 4 Prüfer einen Raum geprüft haben und dass die Akzeptanz hinsichtlich des Kriteriums einer gerade akzeptablen Geruchssituation (Wert von 0) geprüft werden soll. Der Sicherheitsmargin δ wird mit -0,05 angenommen.

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

$H_0: \mu - 0 < -0,05$ (einseitige Prüfung, Annahme, die Geruchssituation ist inakzeptabel)

und die Alternativhypothese:

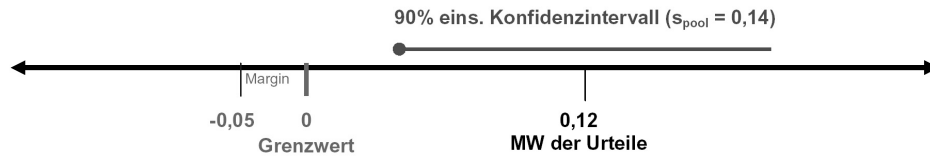
$H_1: \mu - 0 \geq -0,05$

+ Die Prüfung ergab einen Mittelwert der Akzeptanzurteile von 0,12.

Nehmen wir an, dass der wahre Wert der Streuung der Urteilsverteilung bekannt ist. Wir setzen also die Standardabweichung der Akzeptanzurteile als bekannt voraus, indem wir den Wert der gepoolten Standardabweichung $s_{\text{pool}} = 0,14$ (gemäß dem Beispiel des Abschnitts 13.3.1) als den wahren Wert der Verteilung der Akzeptanzurteile des Prüferpanels σ annehmen. Das 100-Alpha = 90 Perzentil der Standardnormalverteilung beträgt 1,28. Das Konfidenzintervall (von dem wir allerdings nur die untere Grenze brauchen, weil wir ein einseitiges Intervall bestimmen) zur Irrtumswahrscheinlichkeit Alpha errechnet sich aus der Gleichung (7):

$$\bar{x} - x_{\text{lim}} \pm z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Dann ergibt sich gemäß Gleichung (7) ein Intervall von: $0,12 - 1,28 * 0,14/2 = 0,030$ bis $0,12 + 1,28 * 0,14/2 = 0,21$. Da die untere Grenze sowie selbstverständlich auch die obere Grenze des 90% Konfidenzintervalls größer als der kritische Wert von $-0,05$ sind, verwerfen wir die Nullhypothese und nehmen an, dass der Grenzwert 0 nicht unterschritten wird und damit eine akzeptable Situation vorliegt.



Beispiel E: Wir nehmen wie in Beispiel D an, dass 4 Prüfer einen Raum geprüft haben und dass die Akzeptanz hinsichtlich des Kriteriums einer gerade akzeptablen Geruchssituation (Wert von 0) geprüft werden soll. Der Sicherheitsmargin δ wird mit $-0,05$ angenommen.

Die Nullhypothese lautet auch in diesem Fall:

$H_0: \mu - 0 < -0,05$ (einseitige Prüfung, Annahme, die Geruchssituation ist inakzeptabel)

und die Alternativhypothese:

$H_1: \mu - 0 \geq -0,05$

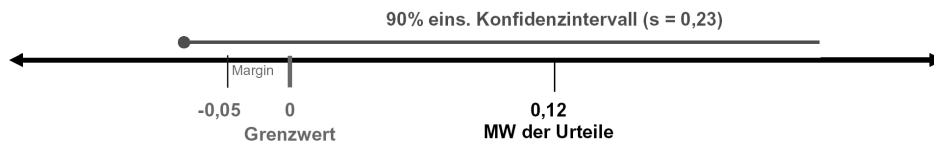
Die Prüfung ergab auch hier einen Mittelwert der Akzeptanzurteile von $0,12$.

Nehmen wir nun an, dass wir die Varianz der Akzeptanzurteilverteilung nicht kennen. Die Standardabweichung der 4 Akzeptanzurteile dieser Prüfer sei $0,23$. Bei 4 Prüfern haben wir 3 Freiheitsgrade und das $100 - \alpha = 90$ Perzentil der Student t-Verteilung (einseitig) beträgt $1,64$.

Das Konfidenzintervall zur Irrtumswahrscheinlichkeit α errechnet sich aus der Gleichung (8):

$$\bar{x} - x_{\text{lim}} \pm t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Einsetzen in Gleichung (8) ergibt den folgenden Bereich: $0,12 - 1,64 * 0,23/2 = -0,069$ bis $0,12 + 1,64 * 0,23/2 = 0,31$. Da die untere Grenze des 90% Konfidenzintervalls kleiner als der kritische Wert von $-0,05$ ist, können wir die Nullhypothese einer unakzeptablen Situation nicht verwerfen. Da der Urteilsmittelwert aber den Grenzwert überschreitet, können wir empfehlen, die Prüfung mit einem größeren Panel zu wiederholen, um eventuell eine klare Entscheidung bezüglich Akzeptanz zu erreichen.



Beispiel F: Wir nehmen wie in Beispiel D und E an, dass 4 Prüfer einen Raum geprüft haben und dass die Akzeptanz hinsichtlich des Kriteriums einer gerade akzeptablen Geruchssituation (Wert von 0) geprüft werden soll. Der Sicherheitsmargin δ wird mit -0,05 angenommen.

Die Nullhypothese lautet auch in diesem Fall:

$H_0: \mu - 0 < -0,05$ (einseitige Prüfung, Annahme, die Geruchssituation ist inakzeptabel)

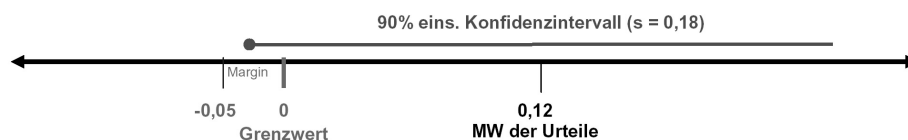
und die Alternativhypothese:

$H_1: \mu - 0 \geq -0,05$

Die Prüfung ergab auch hier einen Mittelwert der Akzeptanzurteile von 0,12.

Nehmen wir nun an, dass 4 andere Prüfer, deren Akzeptanzurteilverteilung wir nicht kennen, die Prüfung vorgenommen haben. Die Standardabweichung der 4 Akzeptanzurteile dieser Prüfer sei 0,18. Bei 4 Prüfern haben wir 3 Freiheitsgrade und das 100-Alpha = 90 Perzentil der Student t-Verteilung (einseitig) beträgt 1,64.

Das Konfidenzintervall zur Irrtumswahrscheinlichkeit Alpha errechnet sich aus Gleichung (8). Einsetzen in diese Gleichung ergibt den folgenden Bereich: $0,12 - 1,64 \cdot 0,18/2 = -0,028$ bis $0,12 + 1,64 \cdot 0,18/2 = 0,27$. Da die untere Grenze sowie selbstverständlich auch die obere Grenze des 90% Konfidenzintervalls größer als der kritische Wert von -0,05 sind, verwerfen wir die Nullhypothese und nehmen an, dass der Grenzwert 0 nicht unterschritten wird und damit eine akzeptable Situation vorliegt.



Beispiel G: Es wurde festgelegt, dass der Wert von 2 für die Intensität (schwache Geruchsintensität) als Richtwert (Kriterium) heranzuziehen ist, der in einem Raum nicht überschritten werden darf. Wir nehmen an, dass 10 Prüfer einen Raum geprüft haben und dass die aktuelle Intensität hinsichtlich des Kriteriums einer Unterschreitung dieses Richtwertes geprüft werden soll. Der Sicherheitsmargin δ wird mit 0,1 angenommen.

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

$H_0: \mu - 2 > 0,1$ (einseitige Prüfung, Annahme die Intensität übersteigt den Wert von 2, ist also zu hoch)

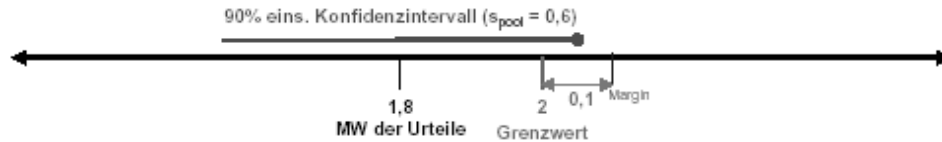
$H_1: \mu - 2 \leq 0,1$

Die Prüfung ergab einen Mittelwert der Intensitätsurteile von 1,8.

Nehmen wir an, dass der wahre Wert der Varianz der Urteilsverteilung bekannt ist. Wir setzen also die Standardabweichung der Intensitätsurteile als bekannt voraus, indem wir den Wert der gepoolten Standardabweichung $s_{\text{pool}} = 0,6$ als den wahren Wert der Verteilung der Intensitätsurteile des Prüferpanels σ voraussetzen. Das 100-Alpha = 90 Perzentil der Standardnormalverteilung beträgt 1,28. Das Konfidenzintervall zur Irrtumswahrscheinlichkeit Alpha errechnet sich aus der Gleichung (7):

$$\bar{x} - x_{\lim} \pm z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Dann ergibt sich gemäß Gleichung (7) ein Intervall von: $1,8 - 2 - 1,28 * 0,6 / 3,16 = -0,44$ bis $1,8 - 2 + 1,28 * 0,6 / 3,16 = 0,043$. Da die obere Grenze sowie selbstverständlich auch die untere Grenze des 90% Konfidenzintervalls kleiner als der kritische Wert von 0,1 sind, verwerfen wir die Nullhypothese und nehmen an, dass der Wert von 2 für die Geruchsintensität nicht überschritten wird.



Beispiel H: Es wurde wie in Beispiel G festgelegt, dass der Wert von 2 für die Intensität (schwache Geruchsintensität) als Richtwert (Kriterium) heranzuziehen ist, der in einem Raum nicht überschritten werden darf. Wir nehmen wieder an, dass 10 Prüfer einen Raum geprüft haben und dass die aktuelle Intensität hinsichtlich des Kriteriums einer Unterschreitung dieses Richtwertes geprüft werden soll. Der Sicherheitsmargin δ wird mit 0,1 angenommen.

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

$H_0: \mu - 2 > 0,1$ (einseitige Prüfung, Annahme die Intensität übersteigt den Wert von 2)

$H_1: \mu - 2 \leq 0,1$

Die Prüfung ergab einen Mittelwert der Intensitätsurteile von 1,8.

Nehmen wir nun an, dass 10 Prüfer, deren Intensitätsurteilverteilung wir nicht kennen, die Prüfung vorgenommen haben. Die Standardabweichung der 10 Urteile dieser Prüfer sei 0,9. Bei 10 Prüfern haben wir 9 Freiheitsgrade und das $100 - \alpha = 90$ Perzentil der Student t-Verteilung (einseitig) beträgt 1,38.

Das Konfidenzintervall zur Irrtumswahrscheinlichkeit Alpha errechnet sich aus der Gleichung (8):

$$\bar{x} - x_{\lim} \pm t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Einsetzen in Gleichung (8) ergibt den folgenden Bereich: $1,8 - 2 - 1,38 * 0,9 / 3,16 = -0,59$ bis $1,8 - 2 + 1,38 * 0,9 / 3,16 = 0,19$. Da die obere Grenze größer als der kritische Wert von 0,1 ist, können wir die Nullhypothese, dass die Intensität den Wert von 2 übersteigt, nicht verwerfen. Da jedoch der Mittelwert der Urteile unterhalb des Kriteriums liegt, können wir empfehlen, die Prüfung mit einem größeren Panel zu wiederholen, um eventuell eine klare Entscheidung bezüglich Intensität zu erreichen.

