



ARBEITSGEMEINSCHAFT
ÖKOLOGISCHER
FORSCHUNGSINSTITUTE e.V.

AGÖF-LEITFADEN

„GERÜCHE IN INNENRÄUMEN – SENSORISCHE BESTIMMUNG UND BEWERTUNG“

Stand: 25.09.2013

Veröffentlicht zum 10. AGÖF-Fachkongress
am 24. und 25. Oktober 2013 in Nürnberg
im Anhang des Kongressreaders: „Umweltgebäude und Gesundheit –
Schadstoffe Gerüche und schadstoffarmes Bauen“

Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF)
Energie- und Umweltzentrum 1 * 31832 Springe-Eldagsen
Tel.: 05044/ 97575 * Fax: 05044/ 97577
Email: info@agoef.de * Internet: www.agoef.de

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

Der Kongressreader „Umweltgebäude und Gesundheit - Schadstoffe Gerüche und schadstoffarmes Bauen“ kann bezogen werden über email@anbus.de.

© 2013 Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF)

Autorenverzeichnis in alphabetischer Reihenfolge

Peter BRAUN (ALAB GmbH, Berlin)

Elke BRUNS- TOBER (Umwelt- und Gesundheitsinstitut Bruns-Tober, Wittingen)

Bernhard DAMBERGER (IBO Innenraumanalytik OG, Wien)

Martin HOFFMANN (ö.b.u.v. Sachverständiger für „Schadstoffe in Innenräumen“, Berlin)

Hans-Peter HUTTER (Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien)

Michael KUNDI (Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien)

Patrick LERCH (Rechtsanwalt, Nürnberg)

Wigbert MARAUN (ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel)

Gerald SALESCHAK (Wien)

Manfred SANTEN (Sachverständiger für Gebäude- und Innenraumschadstoffe, Hamburg)

Matthias SCHMIDT (anbus analytik GmbH, Fürth)

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 Bauökologie, Wien)

Peter WALLNER (Ärztinnen und Ärzte für eine gesunde Umwelt, Wien)

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	6
2.	ANWENDUNGSBEREICH	7
3.	GRUNDLAGEN	8
3.1.	Historische Entwicklung der Geruchsbewertung	8
3.2.	Grundlagen der Geruchswahrnehmung	9
3.2.1.	Allgemeines zum Geruchssinn	9
3.2.2.	Physiologie der Geruchswahrnehmung	9
3.2.3.	Physiologische und psychologische Wirkungen	10
3.2.4.	Geruchsqualitäten	12
3.3.	Ursachen von Gerüchen in Innenräumen	12
4.	BEGRIFFSBESTIMMUNGEN	13
5.	ZIELE DER SENSORISCHEN GERUCHSPRÜFUNG	15
5.1.	Beurteilung von Mängeln aus zivilrechtlicher Sicht	15
5.2.	Beurteilung der Zumutbarkeit eines Geruches	16
5.3.	kontrolle des Sanierungserfolges	17
5.4.	Prüfung im Rahmen einer Gebäude-Zertifizierung	17
5.5.	Ermittlung der Art des Geruchs bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten	17
5.6.	Ermittlung der Quelle eines festgestellten Geruchs	17
6.	MESSSTRATEGIE UND GRENZEN DER SENSORISCHEN PRÜFUNG	17
6.1.	Allgemeine Strategien der Geruchsprüfung	17
6.1.1.	Direkte sensorische Bewertung	18
6.1.2.	Indirekte sensorische Bewertung	18
6.2.	Strategien bei der Direkten sensorischen Bewertung der Geruchsintensität	20
6.3.	Anzahl der Prüfer	20
6.4.	Vorgehensweise bei der Ermittlung von Geruchsquellen	21
6.5.	Grenzen der sensorischen Geruchsprüfung	22
7.	ANFORDERUNGEN AN DIE PRÜFER	22

7.1.	Grundanforderungen	22
7.2.	Nachweis der sensorischen Fähigkeiten	23
7.3.	Schulung	23
8.	DURCHFÜHRUNG DER SENSORISCHEN PRÜFUNG	24
8.1.	Auswahl der zu beprobenden Räume und Messpunkte	24
8.2.	Zeitpunkt und Randbedingungen der Prüfung und Vorbereitung der Räumlichkeiten	25
8.3.	Herstellung der Kalibrierstandards	25
8.4.	Vorbereitung der Prüfer auf die sensorische Geruchsprüfung	26
8.4.1.	Allgemeine Anforderungen	26
8.4.2.	Kalibrierung des Geruchssinns beim Messziel Intensitätsbestimmung	26
8.5.	Durchführung der direkten Geruchsprüfung	27
8.5.1.	Vorgehensweise zur direkten Geruchsprüfung	27
8.5.2.	Prüfung der Intensität	28
8.5.3.	Prüfung der Hedonik	29
8.5.4.	Prüfung der Akzeptanz	30
8.5.5.	Anteil der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen (PD)	31
8.5.6.	Beschreibung der Geruchsqualität	32
9.	GESAMTBEURTEILUNG EINES GERUCHSEREIGNISSES	33
9.1.	Allgemeines zur Beurteilung	33
9.2.	Einflussfaktoren der Bewertung	34
9.2.1.	Zeitraum seit der Erstellung des Raumes	34
9.2.2.	Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	35
9.2.3.	Windgeschwindigkeit und Luftwechsel	35
9.2.4.	Nutzung des Raums	35
9.2.5.	Bewusste oder erwartete Freisetzung von Gerüchen	35
9.2.6.	Kognitive Strukturen bei der Beurteilung von Gerüchen	35
9.3.	BEURTEILUNG DER HYGIENISCHEN ZUMUTBARKEIT	36
9.3.1.	Beurteilung der Intensität und Hedonik	36
9.3.2.	Beurteilung der Akzeptanz	37
9.3.3.	Typische und untypische Gerüche	39
9.4.	Beurteilung eines Mangels	39
9.5.	Bewertung des Sanierungserfolges	39
9.6.	Bewertung im Rahmen einer Gebäudezertifizierung	40
9.7.	Ergänzende Bewertungsverfahren	40
10.	PRÜFBERICHT	41

11. FEHLERBETRACHTUNG UND QUALITÄTSSICHERUNG	42
11.1. Allgemeines	42
11.2. Statistische Grundlagen	43
11.2.1. Messunsicherheit eines nicht validierten Panels	43
11.2.2. Messunsicherheit eines validierten Panels	44
11.3. Inferenzstatistische Auswertung	45
11.3.1. Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen	45
11.3.2. Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines bestimmten Kriteriums	47
11.4. Anforderungen an die Genauigkeit der Geruchsprüfung	49
12. LITERATUR	50
13. ANHÄNGE	55
13.1. ANHANG 1: Beschreibung von Geruchsqualitäten	55
13.2. ANHANG 2: Vorschlag für ein Geruchsbewertungsformular	57
13.3. ANHANG 3: Berechnungsbeispiele Statistik	59
13.3.1. Ermittlung der Standardunsicherheit eines Panels	59
13.3.2. Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen	60
13.3.3. Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines Kriteriums (Grenzwert)	63

1. EINLEITUNG

Gerüche spielen im täglichen Leben eine nicht zu unterschätzende Rolle. Die Erfahrung zeigt, dass das Thema Gerüche in Innenräumen an Bedeutung gewinnt und damit der Bedarf an Hilfen zur Feststellung und Bewertung von Gerüchen wächst (Ad-hoc-Arbeitsgruppe 2011). Gerüche können sehr unterschiedlich empfunden und bewertet werden. Solange Gerüche nicht als lästig empfunden werden, ist dies innenraumhygienisch in der Regel ohne Folgen, teilweise wird eine Raumlüftung von den Nutzern sogar aktiv betrieben. Geruchsbelästigungen hingegen sind häufig Ursache von Beschwerden und Auseinandersetzungen. Unangenehme Gerüche gelten allgemein als Umweltstressoren. Es werden gesicherte Zusammenhänge in Form von Dosis-Wirkungs- bzw. Dosis-Häufigkeits-Beziehungen beschrieben (Winneke & Steinheider, 1998).

Das Auftreten von Gerüchen kann laut Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) eine schädliche Umwelteinwirkung darstellen. 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. Als besonders belastend gelten sehr unangenehme oder mit Gefahrensituationen assoziierte Gerüche (Brauchle 2003). Ein wesentlicher Grund für die Zunahme an Beschwerden über Gerüche in Innenräumen dürfte darin zu sehen sein, dass Gebäude aus Gründen der Energieeinsparung immer luftdichter gebaut werden, ohne dass für einen hygienisch ausreichenden Luftwechsel gesorgt wird.

Mangels geeigneter Verfahren werden bislang für die Identifikation und Quantifizierung von Gerüchen in Innenräumen oft chemisch-physikalische Messmethoden eingesetzt, deren Ergebnisse jedoch in der Regel Geruchssituationen nicht adäquat abbilden. Die menschliche Nase nimmt zahlreiche geruchsintensive Substanzen bereits in Konzentrationen wahr, die unterhalb der analytischen Nachweisgrenzen liegen oder, aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften im Rahmen der routinemäßigen Laboranalytik, überhaupt nicht erkannt werden können. Für die Außenluft existieren seit Jahrzehnten gut etablierte Verfahren zur Geruchsprüfung, deren Anwendung aber aufgrund der besonderen Bedingungen in Innenräumen nicht möglich ist. Um eine präzise und statistisch abgesicherte Bewertung von Gerüchen in der Innenraumluft zu ermöglichen, 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 (Tappler et. al 2011, Thumulla und Kroczeck 2011). Bei der österreichischen und deutschen Ausgabe dieses Leitfadens wurden jeweils länderspezifische Normen, Gesetze und Verordnungen berücksichtigt, so dass die Versionen in einzelnen Abschnitten Textunterschiede aufweisen.

Zentrales Prüfmittel der sensorischen Bewertung von Gerüchen in Innenräumen ist die menschliche Nase. Da die Wahrnehmung von Gerüchen in der Bevölkerung einer erheblichen Variabilität unterliegt, muss eine statistisch abgesicherte Geruchsbewertung durch mehrere Prüfer („Geruchspanel“) erfolgen.

Mit dem Einsatz der menschlichen Nase als Prüfmittel sollen zusätzlich zu dem zentralen Parameter Akzeptanz weitere Parameter wie Geruchsintensität, Hedonik, und Geruchsqualität in die Bewertung einfließen. Weil diese Parameter unterschiedlichen Bereichen der Erkenntnis zuzuordnen sind, ist es nicht möglich, diese zu korrelieren oder miteinander durch eine mathematische Funktion zu verknüpfen (Wilber 2002). Deshalb werden die Geruchsparameter in diesem Leitfaden zunächst gesondert betrachtet und bewertet. Anschließend fließen alle Parameter in die Gesamtbeurteilung ein.

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 die Durchführung der Prüfungen vorgegeben, mit denen die Raumluft bezüglich der Geruchsintensität, der Geruchsqualität, der Hedonik und der Akzeptanz sensorisch beurteilt werden kann. Ziel ist es, die subjektive Geruchswahrnehmung in einem objektivierbaren Rahmen vorzunehmen.

Fragen zu Bewertungen von Luftproben im Geruchslabor, die ohne Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen stattfinden (siehe z.B. VDI 4302 und ISO 16000-30) 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 Tappler 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 (von olfactus, lateinisch für Geruch) 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 Bluysen ein Trainingsverfahren entwickelt, um den Probanden (die dann als „Prüfer“ bezeichnet werden) eine direkte Bewertung der empfundenen Luftqualität in der Einheit Dezipol zu ermöglichen (Bluysen 1990).

Mit der Definition der Quellstärke „olf“ und der daraus abgeleiteten Intensität in Dezipol werden alle Geruchsstoffe gleichgestellt. Untersuchungen des Hermann-Rietschel-Instituts in Berlin zeigten, dass dies bei Emissionen aus Baustoffen und Materialien der Innenausstattung nicht der Realität entspricht. Die empfundene Luftqualität und die Quellstärken von Geruchsquellen zeigen keinen für alle Materialien gleichen Zusammenhang. Um Verwechslungen zu vermeiden, wurde auf Grundlage der Methode von Fanger eine Methodik mittels eines nach oben offenen Vergleichsmaßstabs (pi-Skala mit Aceton als Referenzsubstanz) zur Bewertung der Intensität von Gerüchen entwickelt (Fitzner & Böttcher 2004), der sich international durchsetzte. Zur Beurteilung der Innenraumluft werden Luftproben vor Ort in Säcken gezogen, in ein geeignetes Geruchslabor transferiert und dort sensorisch bewertet (HRI 2004, Müller et al. 2004).

Nach Veröffentlichung des Entwurfs dieses Leitfadens im September 2010 wurden im Mai 2012 Entwürfe der VDI 4302 Blatt 1 und 2 vorgelegt. Diese Richtlinien-Entwürfe beschreiben die Grundlagen und Methoden zur sensorischen Prüfung und Bewertung von Gerüchen in der Innenraumluft. Blatt 2 wurde mittlerweile zurückgezogen und in die ISO 16000-30 überführt.

Der dort als Referenzmethode vorgeschlagene Vergleichsmaßstab mit Aceton als Referenzstoff (pi-Skala) eignet sich vor allem zur Prüfung von Innenraumluftproben und Materialien im Geruchslabor. Der hohe apparative Aufwand für eine Prüfung vor Ort mit dem in der Richtlinie empfohlenen Vergleichsmaßstab ist nur bei Fragestellungen

einsetzbar, bei denen ein großer Untersuchungsaufwand verhältnismäßig ist. Der AGÖF-Leitfaden verbindet die Kategorienmethode mit der Anwendung eines Kalibrierstandards auf Grundlage von n-Butanol-Lösungen der ÖNORM S 5701 vor Ort. Sie beschreibt damit eine Methode zur sensorischen Prüfung und Bewertung von Gerüchen in der Innenraumluft, die mit einem trainierten Geruchs-Panel und deutlich geringerem Aufwand aussagekräftige, validierte und statistisch abgesicherte Prüfungsergebnisse ermöglicht.

3.2. GRUNDLAGEN DER GERUCHSWAHRNEHMUNG

3.2.1. Allgemeines zum Geruchssinn

Riechen ist eine Wahrnehmung, die durch Luftbestandteile, die den Geruchssinn aktivieren, ausgelöst wird. Geruch ist die Interpretation der durch solche Geruchsstoffe ausgelösten Sinneserregungen. Der Geruchssinn zählt (zusammen mit dem Geschmacksinn) zu den chemischen Sinnen. Der menschliche Geruchssinn wird nur selten alleine tätig. Bei den meisten Vorgängen, bei denen Riechen eine Rolle spielt (z.B. Essen, Trinken, Sexualkontakte), wirkt er in Kombination mit dem zweiten chemischen Sinn, dem Geschmack, sowie mit den Sinnen für Tast-, Temperatur- und Schmerzempfindungen im Mund-Nasenbereich. Der Geruchssinn gehört zu den phylogenetisch ältesten Sinnen des Menschen. Aus stammesgeschichtlicher Sicht erzeugen olfaktorische Reize Signale, die zu einem Vermeidungs- oder Annäherungsverhalten führen, sowohl in Bezug auf die Ernährung als auch auf das Sozialverhalten. Durch die Verbindung des Geruchssinns mit dem limbischen System haben Gerüche auch eine stark emotionale Komponente (ÄGU 2008, Gutierrez-Castellanos et al. 2010).

Das menschliche Geruchssystem kann Tausende von verschiedenen Duftstoffen unterscheiden. Gerüche sind aber schwer zu benennen und örtlich zu lokalisieren. Bei dieser Aufgabe helfen anderssinnliche Zusatzreize.

Der menschliche Geruchssinn ist bis heute allen bekannten chemischen Methoden zur Geruchsanalytik überlegen: Er ist immer „eingeschaltet“ und häufig auch sensibel für sehr geringe Geruchsstoffkonzentrationen.

3.2.2. Physiologie der Geruchswahrnehmung

Die Geruchswahrnehmung beginnt in der Riechschleimhaut. Die Geruchsmoleküle werden mit der Atemluft zur Riechschleimhaut transportiert. Auf einer Fläche von 5,5 cm² befinden sich mehrere Millionen Riechsinneszellen, die ca. alle 60 Tage erneuert werden. Der Mensch besitzt ca. 400 unterschiedliche Riechsinneszellen. Die Rezeptoren für die Geruchsstoffmoleküle sitzen auf den Sinneshaaren der Riehzelle, die in die wässrige Schleimschicht der Nasenschleimhaut hineinragen.

Die Rezeptoren weisen ein molekulares Erkennungsvermögen auf. Mehrere Rezeptoren reagieren auf die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften eines Geruchsmoleküls. Die Rezeptoren haben eine hohe Spezifität für bestimmte Molekulareigenschaften, aber auch eine hohe Toleranz gegenüber weiteren chemischen Merkmalen. Daraus ergibt sich, dass ein Rezeptor nicht auf einen bestimmten Geruchsstoff, sondern auf mehrere

Geruchsstoffe reagiert und ein einzelner Geruchsstoff durch mehrere Rezeptoren registriert wird (Hatt 2004; DeMaria & Ngai 2010).

Am Rezeptor angekommen, löst ein Geruchsstoffmolekül in der Zelle einen elektrischen Impuls aus. Die Wahrscheinlichkeit einer Rezeptorwechselwirkung und eines elektrischen Impulses ist dabei abhängig von der Passung der Molekülmerkmale und der Geruchsstoffkonzentration.

Die Axone der Riechsinneszellen enden im Riechkolben (Bulbus olfactorius), wo die zentralnervöse Verarbeitung der Geruchsinformation beginnt. Hier befinden sich ca. 30.000 Schaltzentren (Glomeruli). Die aufgearbeitete Information wird dann in Form eines räumlichen und zeitlichen Aktivitätsmusters von den sog. Mitralzellen an die Riechrinde weitergeleitet.

In einem Glomerulus werden die Informationen aus 1.000 bis 2.000 Riechzellen mit gleichem Duftrezeptor gebündelt. Die spezifische Verbindung zwischen einem Glomerulus und den dazugehörigen Riechzellen ist genetisch festgelegt und wird immer wieder in gleicher Art und Weise neu gebildet, wenn sich die Riechzellen erneuern. Die große Redundanz der Riechzellensignale hat den Vorteil, dass die Geruchswahrnehmung weiterhin möglich ist, auch wenn größere Teile der Riechschleimhaut z. B. bei einer Infektion geschädigt werden. Die räumliche Anordnung der Glomeruli, die nicht wie die Riechzellen erneuert werden, ist bei allen Menschen gleich. Deswegen werden gleiche Geruchsstoffe von verschiedenen Menschen in gleicher Art und Weise wahrgenommen.

Obwohl der Geruchssinn des Menschen im Vergleich zu anderen Säugetieren eher unterentwickelt ist, können Störungen des Geruchssinns das Wohlbefinden und die Lebensqualität empfindlich beeinträchtigen.

3.2.3. Physiologische und psychologische Wirkungen

Geruchsreize wirken als Signal für erhöhte Aufmerksamkeit. Daher können Gerüche physiologische Reaktionen im Sinne von Orientierungsreaktionen hervorrufen. Wenn Gerüche als „Alarmsignale“ fungieren, bereiten sie den Organismus auf spezifische physiologische Reaktionsmuster vor. Sie lösen z. B. Stressreaktionen aus, die den Körper auf Kampf oder Flucht vorbereiten, wie die Pupillenerweiterung oder die Verengung der peripheren Blutgefäße.

Da der Geruchsnerv Verbindungen zum Hypothalamus hat, ist eine Beeinflussung von körperlichen Funktionen wie Blutdruck, Herzfrequenz oder Muskelanspannung theoretisch begründbar. In Laboruntersuchungen konnten Reaktionen auf das autonome Nervensystem durch Geruchsreize nachgewiesen werden. So führt etwa eine sensorische Stimulation im EEG (Elektroenzephalogramm) in der Regel zu einer Abnahme von langsamen Wellen wie Alpha und Theta. Angenehme Gerüche lösen dabei eine vermehrte Theta-Aktivität aus (Steinheider 1997).

Eine spezifische Reaktion (im Sinne einer psycho-physiologischen Wechselwirkung) auf Gerüche stellt das von Kofler (1993) als Toxikopie (= Kopie einer Vergiftung) bezeichnete Phänomen dar. Darunter wird das Auftreten manifester Symptome verstanden, die mit solchen bei Vergiftungen vergleichbar sind, ohne dass jedoch relevante Giftbelastungen vorhanden sind.

Die Geruchswahrnehmung beruht nicht nur auf den über den Riechnerv (1.Hirnnerv) übermittelten Informationen (Arts et al. 2006). Vielmehr ist auch der Nervus trigeminus (5. Hirnnerv) an der Geruchswahrnehmung beteiligt (stechende Geruchskomponente). Zum Teil kann daher ein Geruchseindruck selbst bereits Ausdruck einer irritativen Einwirkung sein (Reizgase).

Unabhängig von den zugrundeliegenden Mechanismen der Reizwahrnehmung können Geruchsstimuli unmittelbare Auswirkungen auf die Atmung haben, wobei reflektorische und kognitive Vorgänge eine Rolle spielen dürften: Die Reaktion hängt von der hedonischen Bewertung des Geruches ab (Vertiefung und Verlangsamung der Atmung bei angenehmen Gerüchen, das Gegenteil bei unangenehmen Gerüchen); die Effekte finden sich bereits knapp oberhalb der Geruchsschwelle voll ausgeprägt und ohne deutliche Dosis-Wirkungsbeziehung (Gudziol et al. 2006).

Aufgrund der evolutionsbiologischen Bedeutung von Gerüchen als Warnsignale für verdorbene Nahrung können bestimmte Gerüche zu einer heftigen vegetativen Reaktion bis hin zum Erbrechen führen. Umgekehrt führen angenehme Gerüche zu vermehrtem Speichelfluss (Appetitsteuerung).

Inter- und intraindividuelle Schwankungen: So wie bei anderen Sinneswahrnehmungen sind auch bei der Geruchswahrnehmung neben den Reizcharakteristika (Reizqualität, Reizintensität) physiologische Eigenschaften der Person sowie psychosoziale Aspekte für die Art der Geruchswahrnehmung und deren Bewertung verantwortlich. Vor allem die Faktoren Alter, Geschlecht und Rauchverhalten beeinflussen die Geruchswahrnehmung (Shusterman 1992). Weitere psychosoziale Variablen, die die Wahrnehmung von Gerüchen beeinflussen können, sind beispielsweise Geruchsempfindlichkeit, Gesundheitszufriedenheit, Wohnzufriedenheit und kulturelle Unterschiede. Für die interindividuellen Unterschiede ist aber hauptsächlich die leichte Konditionierbarkeit von emotionalen Reaktionen auf Gerüche verantwortlich.

Adaptations-, Habituations- und Sensibilisierungsprozesse beeinflussen die Geruchsbewertungen hinsichtlich Belästigungsgrad und Folgewirkungen wesentlich.

Habituation ist ein Prozess auf der Ebene der (zentralnervösen) Reizverarbeitung, der zu einer Verminderung der Geruchswahrnehmung führt. Adaptation ist ein Vorgang auf der Ebene der Sinneszellen und der primären Verarbeitung, der zu einer reduzierten Empfindlichkeit der Zellen führt. Beide Phänomene unterliegen intra- und interindividuellen Schwankungen. Aber auch psychologische und soziale Determinanten haben einen Einfluss auf das Ausmaß der Habituation (Plattig 1994).

Bleibt die Intensität eines Duftreizes über einen gewissen Zeitraum hinweg in etwa konstant, dann kommt es zu einer allmählichen Verminderung der Empfindungsintensität (= Adaptation) (Burdach 1987). Nach Beendigung der Duftstimulation kommt es langsam wieder zur Erholung, die ursprüngliche Sensibilität wird wieder aufgebaut.

Im Vergleich zu anderen Sinnen ist die Adaptation beim Geruchssinn (und auch beim Geschmackssinn) besonders ausgeprägt. Die Erregung in den afferenten Bahnen sinkt noch während des Reizes stark ab, dementsprechend erlischt z.B. die Geruchswahrnehmung häufig bereits nach kurzem Aufenthalt in einer duftstoffhaltigen Umgebung. Die Adaptation ist auf den gerade wahrgenommenen Geruch beschränkt, während die Schwelle für andere Gerüche unverändert bleibt (Brauer 1996).

Die Riechadaptation ist eine nützliche, wenn nicht sogar lebensnotwendige Funktion des Geruchssinns. Duftstoffe, die über längere Zeit konstant einwirken, ohne den Organismus zu schädigen, werden daher vom Sinnessystem als weniger bedeutsam vorausgesetzt als solche, die neu oder in veränderter Intensität hinzukommen und möglicherweise rasche Verhaltensänderungen erfordern (Burdach 1987).

Eine Änderung der Geruchswahrnehmung im Verlauf der ersten Minuten einer Exposition geht überwiegend oder ausschließlich auf die Adaptation zurück. Die trigeminale Wahrnehmung unterliegt dagegen keiner adaptativen Wirkung. Die Nichtgewöhnung an potentiell gefährliche Reizstoffe in der Atemluft, die den Trigemini aktivieren, ist biologisch sinnvoll, weil eine Wahrnehmung, die eine Gefahr signalisiert, nur dann an Wirkung verlieren sollte, wenn entweder die Gefahr beseitigt wird oder man sich von ihr entfernt (Thiel et al. 1998).

Im Gegensatz zur Adaptation, bei der es sich um eine reizseitig determinierte Herabsetzung der Empfindlichkeit handelt, die in erster Linie von der Reizdauer abhängt, geht es bei der Habituation um einen erfahrungsabhängigen Sensibilitätsverlust, dessen Ausprägung mit der Anzahl (und Regelmäßigkeit) der Assoziation von olfaktorischen und sonstigen Reizcharakteristika zunimmt (Burdach 1987).

Im Gegensatz zur Adaptation, die bereits bei einmalig andauernder Stimulierung entsteht, ist Habituation („Gewöhnung“) das Ergebnis einer Vielzahl von Konfrontationen mit einem bestimmten Duftreiz. Lernprozesse bewirken, dass ein solchermaßen vertrauter Duftreiz weniger Beachtung findet als ein unerwarteter Geruch (Burdach 1987).

Das Unterscheiden von „guten“ und „schlechten“ Gerüchen ist wichtig, da gute und schlechte Gerüche unterschiedliche Verhaltensantworten verlangen. Schlechte Gerüche warnen uns vor Gefahren, schlechter Luftqualität, Giften und sogar vor Krankheiten. Jede dieser Warnungen verlangt nach einer sofortigen Entscheidung und einer durchzuführenden Handlung wie zum Beispiel Vermeidung oder Rückzug.

3.2.4. Geruchsqualitäten

Bisher ist es nicht gelungen, Gerüche, die Menschen wahrnehmen können, in ein System von Geruchsqualitäten zu bringen, das den psychophysiologischen Tatsachen gerecht wird. Dennoch sind für praktische Zwecke solche Systeme als vorläufige Annäherung im Gebrauch. Ein Beispiel für eine sehr differenzierte Liste ist in Anhang 1 zu finden.

3.3. 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 in Gebäuden sind biologische Abbauvorgänge, bei denen Bakterien und Schimmelpilze, aber auch Tiere und Menschen,

geruchlich auffällige Stoffe produzieren. Ursachen können Bauschäden oder mangelhafte raumluft-technische Anlagen sein. Weitere Ursachen für Geruchsentwicklungen in Gebäuden sind Feuerstätten (Kamine), Tabakrauch und gelagerte geruchsintensive Stoffe, wie zum Beispiel Heizöl. Eine weitere Kategorie der Quellen liegt außerhalb des Raums, bzw. des Gebäudes, und wird über Fenster, Lüftungsanlagen und Undichtigkeiten im Gebäude oder in der Gebäudehülle eingetragen. Einen Überblick über unterschiedliche Ursachen von Gerüchen in der Innenraumluft gibt Fromme (2010).

4. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

In diesem Leitfaden gelten die folgenden Begriffsbestimmungen:

Adaptation

Fähigkeit des Geruchssinnes sich an bestimmte Geruchsempfindungen anzupassen. Unter konstant andauernder Reizung der Sinneszellen kann die Reizempfindung abgeschwächt werden. Das Ausmaß dieser Adaption hängt von der Art der Geruchsstoffe und von der Reizkonzentration ab.

Akzeptanz

Maß für die Zufriedenheit der Prüfpersonen mit einem bestimmten Umgebungszustand in einem Innenraum, unter Kenntnis der Nutzungsart des Raums 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, anhand von Kalibrierstandards geschult wurden und diese bei der Geruchsprüfung einsetzen.

Referenz

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

Sensibilisierung

Gesteigertes Geruchsempfinden durch Einwirkung eines Geruchsstoffs über einen längeren Zeitraum und mit einer Intensität im Bereich der Geruchsschwelle.

Zumutbarkeit

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

Mangel

Die zu erwartende oder zugesicherte Eigenschaft eines Materials oder Produkts ist nicht oder nur eingeschränkt vorhanden.

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, ist die Frage der Zumutbarkeit von Gerüchen und der Nutzbarkeit betroffener Räume, Ziel einer fachlich fundierten Beurteilung von Gerüchen in Innenräumen.

Im Rahmen dieses Leitfadens werden folgende Ziele unterschieden:

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

5.1. BEURTEILUNG VON MÄNGELN AUS ZIVILRECHTLICHER SICHT

Bei der Beurteilung, ob ein zivilrechtlich relevanter Mangel vorliegt, ist zunächst zu beachten, wie der Mangelbegriff im jeweiligen Gesetz formuliert ist. Der Gesetzgeber hat keine spezifischen Regelungen in Bezug auf Gerüche vorgegeben. Somit muss die Problematik unter den gesetzlichen Vorgaben der jeweiligen Gewährleistungsrechte abgehandelt werden. Hiernach liegt sowohl im Kauf- als auch im Werkvertragsrecht die Bestimmung vor, dass ein Sachmangel dann gegeben ist, wenn entweder der Kaufgegenstand oder das Werk von einer vereinbarten Beschaffenheit abweicht oder sich der eine wie der andere nicht für die nach dem Vertrag vorausgesetzte Verwendung eignet.

Der Hauptfall ist jedoch, dass sich die Sache oder das Werk nicht für die gewöhnliche Verwendung eignet oder eine Beschaffenheit aufweist, die bei Sachen oder Werken der gleichen Art von der Üblichkeit abweicht. Das heißt, dass ein Mangel nur im Vergleich zum „Üblichen“, also zum Durchschnitt der technisch einwandfreien Sachen/ Werke festgestellt werden kann.

Eine Abweichung vom soeben definierten „Üblichen“ kann bei Gerüchen anhand folgender Parameter beschrieben werden:

- Dauer der Geruchseinwirkung
- Intensität
- Hedonik
- Akzeptanz des Geruches

Bei der Beurteilung der Abweichung von der „Üblichkeit“ im Einzelfall ist aus den eben genannten Parametern ein Gesamtbild zu erzeugen. Außer in Extremfällen wird keiner der vier Bewertungsparameter allein ausreichend sein, um eine abschließende fachliche Beurteilung zu erstellen.

Im Mietrecht (Wohnraummiete) liegen etwas andere gesetzliche Voraussetzungen für die Bestimmung von Mängeln vor. Hiernach hat der Vermieter dem Mieter die Mietsache in einem zum vertragsgemäßen Gebrauch geeigneten Zustand zu überlassen und diesen während der Mietzeit zu erhalten. Ist das nicht der Fall, so kann die Miete gemindert werden, wenn ein Mangel deren „Tauglichkeit zum vertragsgemäßen Gebrauch aufhebt“ oder diese gemindert ist. Eine „erhebliche Gefährdung der Gesundheit“ stellt darüber hinaus einen Grund zur außerordentlichen Kündigung dar. An dieses Tatbestandsmerkmal sind keine allzu strengen Anforderungen zu stellen. Es genügt nach dem Gesetzeszweck, wenn das Wohlbefinden des Benutzers der Räume nachhaltig beeinträchtigt wird (Schmidt-Futterer, 10. Aufl., §569 Rd-Nr. 10 m.w.N.).

Im Arbeitsrecht ist die ausschlaggebende Beurteilung nach § 618 BGB vorzunehmen. Hiernach hat der Dienstberechtigte (Arbeitgeber) Räume, Vorrichtungen oder Gerätschaften, die er zur Verrichtung der Dienste zu beschaffen hat, so einzurichten und zu unterhalten und Dienstleistungen, die unter seiner Anordnung oder seiner Leitung vorzunehmen sind, so zu regeln, dass der Verpflichtete gegen Gefahr für Leben und Gesundheit soweit geschützt ist, als die Natur der Dienstleistung es gestattet.

Eine Besonderheit stellt hier noch das Beamtenrecht dar. Ausschlaggebend ist hier das beamtenrechtliche Fürsorgeprinzip, das vom Dienstherrn generell einen umfassenden Schutz des Beamten oder der Beamtin unter Berücksichtigung der jeweiligen individuellen Konstitution fordert.

5.2. 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“ (§13 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.

5.3. KONTROLLE DES SANIERUNGSERFOLGES

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

5.4. PRÜFUNG IM RAHMEN EINER GEBÄUDE-ZERTIFIZIERUNG

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

5.5. ERMITTLUNG DER ART DES GERUCHS BZW. DER VOR ORT DOMINANTEN GERUCHSKOMPONENTEN

Wenn die Art des Geruchs bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten ermittelt werden soll, ist möglicherweise nur eine Prüfung der Geruchsqualität notwendig. Mit der Beschreibung des Geruchs (s. Kapitel 8.5.6 und Anhang 1: „Beschreibung von Geruchsqualitäten“) können Verknüpfungen zu möglichen Quellen erstellt werden.

5.6. ERMITTLUNG DER QUELLE EINES FESTGESTELLTEN GERUCHS

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 andere Ursachen wie Luftströmungen aus anderen Teilen des Gebäudes zurückzuführen ist.

6. MESSSTRATEGIE UND GRENZEN DER SENSORISCHEN PRÜFUNG

6.1. ALLGEMEINE STRATEGIEN DER GERUCHSPRÜFUNG

Messstrategien zur Prüfung von Gerüchen in Innenräumen sind:

- die direkte sensorische Bewertung der Raumluft durch Prüfer/ Probanden vor Ort
- die indirekte sensorische Bewertung der Raumluft durch die Probenahme in speziellen Transportbehältern und sensorische Bewertung der Luftproben im Labor. Diese Methode kann als Hilfsmethode zusätzlich zu den genannten Strategien eingesetzt werden. Eine Bewertung der Akzeptanz ist mit dieser Methode nur mit großer Unschärfe möglich.

Die unterschiedlichen Messstrategien zeigen in der Praxis eine Reihe von Vor- und Nachteilen. Um zu entscheiden, welcher dieser Vorgehensweise für die jeweilige Frage-

stellung am geeignetsten ist, werden im Folgenden die Vor- und Nachteile gegenübergestellt:

6.1.1. Direkte sensorische Bewertung

Vorteile der direkten sensorischen Bewertung der Raumluft vor Ort sind:

- Keine Veränderung der zu beurteilenden Luft durch Transportprozesse
- 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 Prüfvorgangs vor Ort
- Sofortige Verfügbarkeit der Ergebnisse
- Gleichzeitiges Ermitteln der Quellen möglich

Nachteile der direkten sensorischen Bewertung der Raumluft vor Ort sind:

- Beeinflussung der Beurteilungsergebnisse durch Umgebung und kontextbezogene Faktoren
- Bei umfangreichen Panelgrößen hoher finanzieller Aufwand für Reise und Aufenthalt (vor allem bei ungeschulten Probanden)
- Adaption 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

6.1.2. Indirekte sensorische Bewertung

Vorteile der Probenahme in Transportbehältern und Bewertung der Luftproben im Labor (indirekte Methode) sind:

- Kontextunabhängige Bewertung der Luftproben möglich; Prüfer haben bei der Beurteilung keine visuelle Kenntnis möglicher Quellen
- Bei geringer lokaler Verfügbarkeit von Prüfern oder wenn Bestellung der Prüfer zum Prüfort logistisch aufwändig 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. Zugscheinungen, Licht oder Lärm) die Bewertung beeinträchtigen könnten

Nachteile der Probenahme in Transportbehältern und Bewertung der Luftproben im Labor sind:

- Eine Akzeptanzbewertung ist bei Laborproben auf Grund der Unkenntnis der situativen Situation vor Ort nur mit einer großen Unschärfe möglich. Das Ausmaß der Unschärfe ist nicht bekannt
- ohne zusätzliche Kenntnis der Situation vor Ort reicht eine Bewertung der Luftproben im Labor für eine fachgerechte Gesamtbeurteilung eines Raumes nicht aus
- Technischer Aufwand bei Probenahme, Probentransport und Prüfung wesentlich höher
- Vorhandensein eines Geruchslabors in praktikabler Distanz zur Probenahmestelle notwendig
- Eingeschränkte Möglichkeit der Wiederholung des Prüfvorgangs
- Gefahr der Veränderung der Proben bei Transport und Lagerung durch hohe Temperatur beim Transport je nach Witterungsbedingungen, unzureichende Vorbehandlung der Probenbehälter, lange Lagerzeiten, Einflüsse des Probenbeutelmaterials und luftchemische Prozesse:

Es gibt Hinweise darauf, dass es zu einer Veränderung der Zusammensetzung des Riechstoffgemischs mit der Folge einer möglichen Veränderung der Geruchsqualität, Hedonik und Intensität der Probe während der Lagerung und dem Transport kommen kann (Schultz und Braun 2012, Wolkoff et. al. 2006). Die zur Verfügung stehenden Probenbeutel sind bisher nur für einige Substanzen validiert (Müller 2002). So zeigen Untersuchungen, dass schwerer flüchtige Stoffe, wie Butoxyethoxyethylacetat oder Benzylalkohol (Müller 2002, S.99), in Probenahmebeuteln aus Tedlar® bereits nach 24 h nur noch eine Wiederfindungsrate von etwa 50% aufweisen. Zahlreiche geruchsrelevante Substanzen in Innenräumen, wie Chloranisole, sind noch deutlich schwerflüchtiger, so dass für diese erhebliche Minderbefunde zu befürchten sind.

Prinzipiell muss zudem von luftchemischen Prozessen in den Probebehältern ausgegangen werden. Eine Vielzahl von Untersuchungen hat gezeigt, dass reaktive Stoffe, wie Ozon und freie Radikale, über den Luftaustausch in Innenräume eingetragen werden oder direkt im Innenraum erzeugt werden können (Wolkoff et.al. 1997). Durch chemische Reaktionen in der Gasphase oder auf Materialoberflächen entstehen auf diese Weise neue organische Komponenten. Art und Menge dieser sogenannten sekundären Emissionsprodukte sind naturgemäß von den Vorläufersubstanzen und den klimatischen Parametern abhängig (Salthammer 2000). Solche Verbindungen haben eine Halbwertszeit in der Prüfkammer im Minutenbereich und können schon in sehr geringen Konzentrationen Geruchsbeschwerden auslösen. So wird die Geruchsschwelle von 4,5-epoxy-2-Decenal, zwischen 0,3 und 6 ng/m³ angegeben (P. Wolkoff et. al. 2006)

Zur praktischen Durchführung der indirekten sensorischen Bewertung siehe ISO 16000-30 und VDI 4302.

6.2. STRATEGIEN BEI DER DIREKTEN SENSORISCHEN BEWERTUNG DER GERUCHSINTENSITÄT

Für die direkte sensorische Bewertung der Geruchsintensität stehen unterschiedliche Vorgehensweisen zur Verfügung:

- die direkte sensorische Bewertung der Raumluft vor Ort durch geschulte Prüfer mittels Kalibrierstandards unter Anwendung der Kategorienskala (Gegenstand dieses Leitfadens)
- die direkte sensorische Bewertung der Raumluft vor Ort durch geschulte Prüfer oder ungeschulte Probanden nach der Kategorienskala ohne Kalibrierstandards vor Ort (Alternativmethode nach ISO 16000-30)
- die direkte sensorische Bewertung der Raumluft vor Ort durch geschulte Prüfer mittels Vergleichsmaßstab (Referenzmethode nach ISO 16000-30)

Als Kalibrierstandards für die Intensitätsbestimmung vor Ort wird gemäß dieses Leitfadens n-Butanol auf Grundlage der ÖNORM S 5701 verwendet. Dieser hat den Vorteil, dass er vor Ort einfach zu handhaben ist und das Verfahren praktisch erprobt und validiert ist (Thumulla 2010, Schmidt und Thumulla 2010, Santen 2010).

Die VDI 4302 bzw. die ISO 16000-30 verwendet in der Methode mit Vergleichsmaßstab Aceton als Referenzstoff. Dabei werden unterschiedliche Aceton-Luftkonzentrationen vor Ort apparativ erzeugt und über Trichter den Probanden zugefügt. Der Vorteil ist eine präzisere Kalibrierung der Prüfer. Ein Nachteil ist der deutlich höhere apparative und organisatorische Aufwand vor Ort, der dazu führt, dass die Methode nur bei Fragestellungen einsetzbar ist, bei denen ein großer Untersuchungsaufwand verhältnismäßig ist. Zudem liegen bisher keine publizierten Erfahrungen für den Einsatz und zur Validierung der Methode vor Ort vor.

Methoden ohne Einsatz von Referenzstoffen vor Ort sind prinzipiell ungenauer, weil auch bei trainierten Prüfern die Variabilität des Geruchssinnes („Tagesform“) nicht berücksichtigt wird. Diese Messstrategien erfordern deshalb deutlich höhere Probandenzahlen, so dass sie nur in großen Räumlichkeiten möglich sind. Wegen des damit verbundenen höheren Aufwandes ist ihr Einsatz nur bei bestimmten Fragestellungen verhältnismäßig.

6.3. 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 der Praxis ergibt sich oft die Situation, dass entweder aus ökonomischen oder technischen Gründen eine kleinere Prüferanzahl gewählt werden muss. In vielen Fällen können auch mit wenigen Prüfern hinreichend aussagekräftige Aussagen getroffen werden. 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.

In der Regel wird die Erstbeurteilung durch einen einzelnen Sachverständigen durchgeführt. Dieser legt die weiteren Schritte fest. Ist die statistisch abgesicherte Beurteilung eines Raums notwendig, muss eine Prüfung mit einem größeren Prüferpanel durchgeführt werden. Je mehr Prüfer eingesetzt werden, desto mehr sinkt die methodisch bedingte Unsicherheit der Bewertung (siehe Kap. 1). 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 Geruchs, bzw. der vor Ort dominanter Geruchskomponenten, sowie für die Suche nach den Quellen eines Geruchs kann ein erfahrener Einzelprüfer ausreichend sein. Häufig erleichtert jedoch die Heranziehung von mehreren Prüfern die Quellensuche.

6.4. 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 selbst 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 Beprobung („Beriechen“) der Oberfläche erfolgreich sein. Zusätzlich ist das Problem zu berücksichtigen, dass sich geruchsverursachende Verbindungen auch sekundär auf Oberflächen anreichern, was eine Ortung der Quelle erschwert.

Folgende weitere Maßnahmen können zur Quellensuche angewendet werden:

- Anlegen eines definierten Unterdrucks 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 Erhöhung der Geruchsintensität im Kopfraum der Quelle bei eingeschränktem Luftwechsel
- Entnahme von Materialproben und Lagerung in Probenahmebehältern (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

6.5. 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 Geruchs 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.

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.

7. ANFORDERUNGEN AN DIE PRÜFER

7.1. GRUNDANFORDERUNGEN

Da der Einsatz menschlicher Sinnesorgane zu Prüfzwecken von der individuellen Eignung der Prüfperson abhängt, sind in Anlehnung an die ÖNORM S 5701 folgende Grundanforderungen an die Prüfer zu stellen:

- Mindestalter 18 Jahre
- Fähigkeit zur Beschreibung und Einstufung von sensorisch wahrnehmbaren Gerüchen
- 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.

7.2. 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 ähnliche Gerüche 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, wobei der Schwellenwerttest mit mindestens 7 Punkten und der Diskriminationstest sowie der Identifikationstest mit mindestens 10 Punkten bestanden werden muss. Damit ist, gemäß dem eingesetzten Testverfahren, gewährleistet, dass der Prüfling zumindest über ein durchschnittliches Riechvermögen verfügt.

7.3. SCHULUNG

Hinweise zu Grundlagen der Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfung können der DIN 10961 entnommen werden.

Die Schulung unterteilt sich in einen theoretischen und einen praktischen Teil. Zu Beginn der Schulung werden die Prüfer mit den Grundlagen der Geruchsbewertung von Innenräumen gemäß dem vorliegenden Leitfaden bekannt gemacht. Insbesondere sind die Voraussetzungen der Bewertung der Akzeptanz zu erörtern. Der praktische Teil umfasst ein Intensitätstraining sowie ein Training des Geruchsgedächtnisses mittels der Darbietung typischer Innenraumgerüche.

Das Intensitätstraining dient der Überprüfung der Fähigkeit, Intensitäten nach Vorgabe zu bewerten. Eine Schulung in Bezug auf die Intensität eines Geruchs wird mittels des in Kapitel 8.3 beschriebenen n-Butanol-Kalibrierstandards durchgeführt. Die Intensitätsstufen sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Zur Schulung der Prüfer auf die vorgegebenen Intensitätsstufen werden dem Prüfer nach einem Vertrautmachen mit den ganzzahligen Stufen des Kalibrierstandard fünf unterschiedliche ganz- und halbzahlige n-Butanol Konzentrationen aus dem Intensitätsstufenbereich 1 bis 4 sowie Blindproben mit der Intensitätsstufe 0 dargeboten. Der Prüfer ordnet die Proben den dargebotenen Intensitätsstufen zu, wobei der Kalibrierstandard zu Hilfe genommen werden kann. Die

Ergebnisse werden dem Prüfer nach der Zuordnung der jeweiligen Probe mitgeteilt. Die Schulung kann mehrere Male wiederholt werden.

Zum Training des Geruchsgedächtnisses ist die Darbietung typischer Innenraumgerüche hilfreich. Die Tabelle im Anhang 1 kann als Hilfsmittel zur Beschreibung von Innenraumgerüchen herangezogen werden.

Im Rahmen der Schulung werden Probebewertungen von Räumen mit Bewertungen der Akzeptanz, Intensität, Hedonik und Geruchsqualität unter Verwendung des Begehungsformulars durchgeführt. Dadurch können Unterschiede in den Bewertungen der Teilnehmer des eingesetzten Panels und gegebenenfalls systematische Ausreißer erfasst werden.

Die Einzel- und Summenergebnisse der Prüfungen und der Schulungen müssen dokumentiert und archiviert werden.

8. DURCHFÜHRUNG DER SENSORISCHEN PRÜFUNG

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

8.1. 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 geben. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Akzeptanz des Geruchs bewertet werden soll.

8.2. ZEITPUNKT UND RANDBEDINGUNGEN DER PRÜFUNG UND VORBEREITUNG DER RÄUMLICHKEITEN

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 Geruchsbelästigungen 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 Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden des Umweltbundesamtes (UBA 2008). Zur Durchführung einer Prüfung unter Worst-case-Bedingungen sollten die Räume nach einer Grundlüftung mindestens 8 Stunden 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 Geruchsbelästigungen, 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 nutzungsüblichem Betrieb der Lüftungsanlage durchzuführen. Insbesondere bei zentral gesteuerten raumluftechnischen Anlagen können zusätzlich Prüfungen bei unterschiedlichen Leistungsstufen sinnvoll sein.

Geruchsbegehungen können in einem genutzten Innenraum oder im Leerzustand durchgeführt werden, dies ist von der Aufgabenstellung abhängig. Bei der Bewertung von durch eine Nutzung der Innenräume entstehenden Gerüchen ist die Geruchsbegehung in einem üblich genutzten Innenraum durchzuführen, bei der Bewertung von Geruchsquellen, die nutzerunabhängig sind, ist die Bewertung im Leerzustand sinnvoller.

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.

8.3. 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, nicht chloriertes, 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 8.5.2 „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 Luft-sauerstoff kann sich z. B. Butanol zu Buttersäure umwandeln und die Geruchsintensität und -charakteristik verändern.

8.4. VORBEREITUNG DER PRÜFER AUF DIE SENSORISCHE GERUCHSPRÜFUNG

8.4.1. Allgemeine Anforderungen

Der Prüfer hat bei der sensorischen Geruchsprüfung zu beachten, dass seine Wahrnehmungsfähigkeit durch unterschiedliche Faktoren wie Rauchen, Kaffeegenuss, 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.

8.4.2. 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 ganzzahligen Standardlösungen von n-Butanol nach Tabelle 2 in Kapitel 8.5.2 ermittelt werden. Bei der Prüfung einer größeren Anzahl von Räumen soll die Kalibrierung wiederholt werden. Es werden die Standardlösungen der Stufen 1 bis 3 herangezogen; 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 mittig 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 auszuschießen.

Die Zuordnung der Konzentrationen von n-Butanol zu den Intensitätsstufen findet man in Tabelle 2 in Kapitel 8.5.2.

8.5. DURCHFÜHRUNG DER DIREKTEN GERUCHSPRÜFUNG

8.5.1. 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, unmittelbar nach Erreichen des festgelegten Messortes, indem die Luft gleichmäßig über die Nase eingeatmet wird. Unmittelbar nach Betreten des Raums erfolgt die Beurteilung des wahrgenommenen Geruchs hinsichtlich der gewählten Prüfziele (zur Auswahl stehen Intensität, Qualität, Hedonik, Akzeptanz) nach dem ersten Eindruck, noch bevor eine Adaptation an die Gerüche im Raum erfolgen kann und die Geruchsempfindung so möglicherweise herabgesetzt wird). Welche Parameter untersucht werden sollen, ist von der Aufgabenstellung abhängig und muss den Prüfern vorab mitgeteilt werden. Die ermittelten Ergebnisse werden sofort protokolliert. Dann verlassen die Prüfer den Messort.

Bei der Beurteilung von Gerüchen kann es notwendig sein, die Möglichkeit der Adaptation zu klären. Hierzu muss 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 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. Diese Vorgehensweise kann auch deshalb notwendig sein, weil es Gerüche gibt, die erst nach mehrmaligem Betreten des Raumes nachweisbar sind.

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 Raums 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.

8.5.2. 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 nach oben offenen numerischen Vergleichsmaßstäben (z.B. HRI 2004, nicht in diesem Leitfaden beschrieben)
- Die Verwendung der Einheit Dezipol für anthropogene Emissionen (z.B. Fanger 1988, nicht in diesem Leitfaden beschrieben)

Bei der Beurteilung der Intensität wird eine Kategorienskala von 0 bis 5 mit einer Abstufung von 0,25 verwendet. Die ganzzahligen Kategorien werden verbal beschrieben. Die Skala beruht auf der an der Universität von Dänemark in Kopenhagen entwickelten Maßeinteilung (Fanger 1988, Bluysen 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 angeführt.

Es ist nicht mit hinreichender Genauigkeit möglich, aus der geruchssensorisch gemessenen Intensität auf die Konzentration der Geruchsstoffe zu schließen, weil die Intensität eines Geruchs dem Weber-Fechner-Gesetz bzw. Stevens-Gesetz folgt und somit proportional dem Logarithmus der Geruchsstoffkonzentration eines Stoffes ist. Hieraus ergeben sich hohe Variabilitäten der Geruchsstoffkonzentration schon bei kleineren Einstufungsunterschieden der Geruchsintensität.

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.

Anmerkung: Die im Entwurf VDI 4302 Blatt 1 Tabelle D4 angeführte Intensitätsskala mit ganzzahligen Stufen zwischen 0 und 6 ist, obwohl ähnliche Begriffe für die Intensitätsstufen verwendet werden, bisher nicht mit der obigen Tabelle 2 abgeglichen und deshalb - bis ein solcher Abgleich stattgefunden hat - vorläufig nicht vergleichbar. Eine Unterscheidung zwischen einem „sehr starken Geruch“ und einem „extrem starken Geruch“ wie sie in der VDI 4302 vorgenommen wird, ist mit dieser Methode nicht möglich.

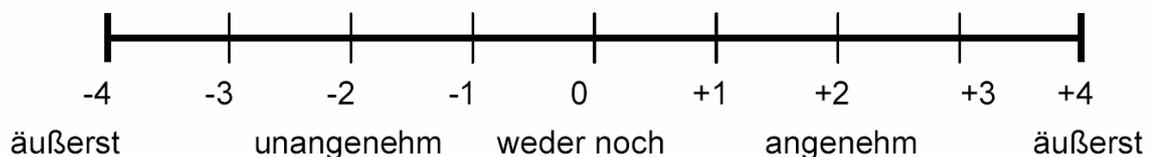
Tabelle 2: Intensität des Geruches

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		2.800
1,75		
2	schwacher Geruch	5.000
2,25		
2,5		11.000
2,75		
3	deutlicher bzw. mittlerer Geruch	25.000
3,25		
3,5		50.000
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 2011)

8.5.3. Prüfung der Hedonik

Die Beurteilung der Hedonik erfolgt in Anlehnung an VDI 3882 Teil 2 als Eindruck unmittelbar nach Betreten des Raums 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, wobei auch Zwischenwerte zwischen den ganzen Zahlen ausgewählt werden können.



Am Ende der Prüfung wird die nicht skalierte Strecke für die Hedonik skaliert und die von den Prüfern angegebenen Werten abgelesen. 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.

8.5.4. Prüfung der Akzeptanz

Die Akzeptanz ist ein Maß für die Zufriedenheit der Prüfpersonen mit einem bestimmten Umgebungszustand in einem Innenraum, unter Kenntnis der Nutzungsart des Raums und weiterer Begleitumstände.

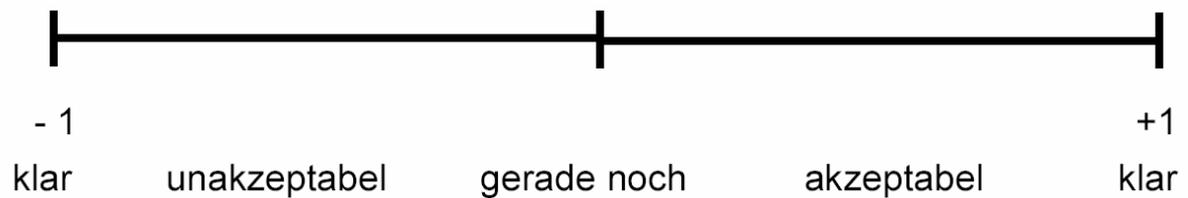
Die Beurteilung der Akzeptanz folgt den in Skandinavien (z. B. Dänemark) praktizierten Verfahren (ECA-IAQ 1999, Clausen 2000). Eine Akzeptanzbewertung nach der hier vorgeschlagenen Methoden ist nur bei Einsatz mehrerer Prüfer sinnvoll. Bei einem Einzelprüfer dagegen fließt dieser Parameter in die Gesamtbeurteilung der Situation ein, ohne dass hierfür ein quantitatives Untersuchungsverfahren nötig wäre. Die Prüfer werden vor dem Betreten des Raums aufgefordert, dessen Nutzungsart bzw. Widmung bei der Bewertung der Akzeptanz zu berücksichtigen.

Abhängig von der Probandenzahl können zwei unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung der Anzahl der mit der Raumluft Unzufriedenen (percentage dissatisfied) herangezogen werden. Der zu erwartende Prozentsatz Unzufriedener (PD = Percentage Dissatisfied) kann über eine Ja-Nein-Abfrage (diskrete Skala) oder mit Hilfe einer stetigen Skala ermittelt werden.

Die Frage, die bei der Ja-Nein-Abfrage an den Prüfer gestellt wird, lautet: "Stellen Sie sich vor, Sie müssten in Ihrem täglichen Lebensumfeld diesen Raum entsprechend seiner Bestimmung nutzen. Würden Sie den Geruch in diesem Raum unter Berücksichtigung der gegebenen Raumnutzung/-widmung als akzeptabel betrachten?"

Bei der Nutzung der stetigen Skala ist eine deutlich geringere Probandenzahl notwendig (s.u.). Die Frage, die bei der stetigen Skala an den Prüfer gestellt wird, lautet: "Stellen Sie sich vor, Sie müssten in Ihrem täglichen Lebensumfeld diesen Raum entsprechend seiner Bestimmung nutzen. Wie würden Sie den Geruch in diesem Raum unter Berücksichtigung der gegebenen Raumnutzung/-widmung in der dargestellten Skala einordnen?"

Die Beurteilung der Akzeptanz erfolgt als Eindruck unmittelbar nach Betreten des Raumes entweder durch die Ja-Nein-Abfrage oder grafisch nach einer unskalierten, in der Mitte unterteilten linearen Strecke (siehe Abbildung) von klar unakzeptabel bis klar 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 und die von den Prüfern angegebenen Werte mit einer Auflösung von 0,05 abgelesen. Die Gesamtbewertung für die Akzeptanz errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelergebnisse der Prüfer, wobei diese Zahl auf eine Nachkommastelle zu runden ist.

8.5.5. Anteil der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen (PD)

Der PD-Wert, also der Anteil der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen, wird aus den Daten zur Erhebung der Akzeptanz abgeleitet. Abhängig von der Probandenzahl können zwei unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung der Anzahl der mit der Raumluft Unzufriedenen (percentage dissatisfied) herangezogen werden:

1. Direkte Auswertung des PD mittels diskreter Skala

Die direkte Auswertung des PD ist nur ab größeren Prüferzahlen deutlich über 10 sinnvoll (Schmidt & Thumulla 2010).

Aus der Gesamtheit aller Antworten der Probandengruppe wird der PD-Wert ermittelt, indem die Anzahl derjenigen, die die Frage mit „nein“ beantwortet haben (unzufriedene Personen), durch die Gesamtzahl der Bewertungen dividiert werden:

$$PD = \frac{\text{Anzahl der unzufriedenen Personen}}{\text{Anzahl aller befragten Personen}} \cdot 100 \%$$

(Gleichung 1)

2. Indirekte Auswertung des PD mittels stetiger Skala

Ausgehend von den ermittelten Werten der Akzeptanz kann der Anteil der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen (PD = Percentage Dissatisfied) abgeschätzt werden. Bei der Umwandlung der Akzeptanzdaten aus der stetigen Skala in diskrete Ja/Nein-Entscheidungen geht jedoch Informationsgehalt verloren, da nicht berücksichtigt wird, ob der jeweilige Prüfer die Raumluft als klar unakzeptabel oder nur gerade als unakzeptabel einstuft. Um diese Informationsschärfe bei der Ermittlung der abgeschätzten prozentualen Anzahl der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen zu erhalten, kann ein von Gunnarsen & Bluysen (1994) empirisch ermittelter Zusammenhang zwischen Akzeptanz und PD herangezogen werden:

$$PD = 100 * e^{(-0,18-5,28 * MW)} / (1 + e^{(-0,18-5,28 * MW)}) \quad \text{(Gleichung 2)}$$

PD = Anteil der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen in % (dissatisfied persons)

MW = Arithmetischer Mittelwert der Einzelergebnisse der Prüfer in Bezug auf Akzeptanz

Schmidt und Thumulla (2010) konnten empirisch bestätigen, dass dieser Zusammenhang auch für die hier beschriebene Methode gilt. Die beiden Autoren vergleichen dabei exemplarisch die Genauigkeit (Irrtumswahrscheinlichkeit α) der PD-Wert-Bestimmung mittels stetiger und diskreter Methode bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Dabei zeigt sich, dass beim Einsatz von 3 Prüfern eines validierten Panels mit der stetigen Methode die gleiche Genauigkeit erreichbar ist, wie beim Einsatz der diskreten Methode mit etwa 9-10 Prüfern. Die Sicherheit von 5 Prüfern mit der stetigen Methode entspricht dann der Sicherheit von etwa 13-14 Prüfern mit der diskreten Methode.

Insofern eignet sich diese Methode insbesondere beim Einsatz kleinerer Prüferpanels, wie die nächste Tabelle 3 zeigt (Schmidt und Thumulla 2010).

Tabelle 3: Vergleich Grenzwertprüfung für PD-Wert stetig und diskret

Projekt 1		
zu prüfender Grenzwert für PD-Wert [%]	30	
	Anzahl Probanden	
Anzahl der Prüfer (stetig) $\alpha=5\%$	3	5
Anzahl der Prüfer (diskret) $\alpha=5\%$	9-10	13-14
Anzahl der Prüfer (stetig) $\alpha=10\%$	3	5
Anzahl der Prüfer (diskret) $\alpha=10\%$	8-9	13-14

α ,: Irrtumswahrscheinlichkeit

8.5.6. Beschreibung der Geruchsqualität

In der Literatur werden verschiedene Klassifizierungssysteme für Gerüche beschrieben, die allerdings keine Eindeutigkeit bei der Beschreibung erreichen und primär nicht für Innenräume entwickelt wurden. Allerdings spielt die Geruchsqualität eine wichtige Rolle und sollte möglichst präzise und reproduzierbar beschrieben werden, da die Geruchsqualität für die Ursachenanalyse bzw. Quellensuche wichtig ist (Ad-hoc-Arbeitsgruppe 2011).

Zur Verwendung gleichartiger Begriffe bei der Beschreibung der Geruchsqualität soll die Tabelle aus Anhang 1 „Beschreibung von Geruchsqualitäten“ eingesetzt werden, 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 Geruchsqualität von der Geruchsstoffkonzentration gegeben ist.

9. GESAMTBEURTEILUNG EINES GERUCHS-EREIGNISSES

9.1. ALLGEMEINES ZUR BEURTEILUNG

Die Gesamtbeurteilung eines konkreten Raums erfolgt mittels einer situativ-integrativen Bewertung durch den die Untersuchung leitenden Sachverständigen. Zwischen der Gesamtbewertung einer Geruchsbelastung der Innenraumluft und den messbaren Parametern Intensität, Hedonik, Geruchsqualität und Akzeptanz gibt es bisher keine allgemeine mathematische Beziehung. Es ist nicht möglich, den einen auf den anderen Parameter zurückzuführen und ihn dadurch entbehrlich zu machen.

Die **Akzeptanz** eines Geruches stellt sich weitgehend als eine Art gesellschaftliches Übereinkommen dar, das sich im Laufe der Zeit verändern kann. Der Kontext und kulturelle Unterschiede spielen eine große Rolle, ob ein Geruch als akzeptabel gilt oder nicht. Ein Beispiel für eine derartige Veränderung ist die kulturelle Akzeptanz von Tabakrauchgerüchen in Innenräumen, die sich in den letzten Jahren drastisch verringert hat. Ein weiteres Beispiel ist der von der Substanz Butylacetat verursachte typische "Möbelneugeruch", der in der Nachkriegsgesellschaft als ein Zeichen von Wohlstand galt, mittlerweile jedoch zu einer häufigen Ursache für Geruchsbeschwerden wurde. Die Bewertung der Akzeptanz stellt in jedem Fall nur eine Momentaufnahme einer Situation in einem bestimmten Kontext (z.B. Wohnraum, Büro, Keller usw.) und Kulturkreis dar.

Die **Intensität** eines Geruches ist ein Parameter, dessen subjektive Wahrnehmung trainiert werden kann und bei Bereitstellung einer Referenz objektivierbar ist. Die objektiv bereitgestellte Skala wird mit einer Skala des subjektiven Erlebens (von „geruchlos“ bis „sehr starker Geruch“) in Korrelation gebracht. Die Praxis zeigt, dass kontextabhängige Faktoren auch die Beurteilung der Intensität signifikant beeinflussen können. Das Herausrechnen der subjektiven Variabilität durch Erstellung eines Mittelwerts der einzelnen subjektiven Bewertungen stellt einen Versuch dar, auf mathematische Weise grobe Abweichungen weitestgehend auszuschließen und zu verlässlich(er)en Aussagen zu gelangen. Es stellt eine legitime Form der Operationalisierung subjektiv erhobener Daten dar.

Die **Hedonik** ist ein ausschließlich persönlicher Wertmaßstab, der von der individuellen Lebensgeschichte des einzelnen Prüfers abhängig ist. Es ist daher sinnvoll neben den Mittelwerten auch die Streuung bei der Bewertung des Parameters zu berücksichtigen.

Die **Geruchsqualität** nimmt ebenfalls eine Mittelstellung zwischen dem äußerlichen, objektiven Bereich und innerlich-individuellem Empfinden ein. Einerseits sind eindeutige, typische Gerüche trainierbar, andererseits werden Gerüche mitunter, bedingt durch das unterschiedliche Geruchsvermögen auch trainierter Prüfer, völlig unterschiedlich beschrieben. Sichtbar wird dies vor allem bei Mischgerüchen, bei denen eine Zuordnung eher assoziativ aufgrund vorheriger Lebenserfahrungen als objektivierbar erfolgt.

Die Bewertungen der durch die einzelnen Prüfer bewerteten voneinander unabhängigen Parameter Intensität, Qualität, Akzeptanz und Hedonik werden als Basis für die Gesamtbeurteilung herangezogen. Die bei der Begutachtung ermittelten zusätzlichen Informationen (Geruch dauernd vorhanden oder intermittierend, Verlauf der Intensität etc.), die physikalischen Randparameter der Prüfung sowie die Nutzung bzw. Widmung des Raums sind zu berücksichtigen. Des Weiteren ist zu beachten, dass der Kontext, im Rahmen dessen die Geruchsprüfung stattfindet, schon in die Beurteilung der Akzeptanz durch die Prüfer eingegangen ist. Die Ergebnisse ergänzender Bewertungsverfahren fließen gegebenenfalls in die Beurteilung ein.

Bei der Beurteilung von Gerüchen sind die Besonderheiten der menschlichen Wahrnehmung und Bewertung von Gerüchen zu berücksichtigen. Sowohl zwischen unterschiedlichen Personen als auch zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten der Geruchswahrnehmung einer Person können erhebliche kontextabhängige Unterschiede in der Wahrnehmung der Geruchsintensität und der Hedonik bestehen. Reizunabhängige Informationen über die Quelle können Geruchsbewertungen positiv oder negativ beeinflussen (Dalton 2001, Laudien 2005). Phänomene wie Adaptation oder Habituation, Überlagerung und Maskierung von Gerüchen sowie akustische und visuelle Beeinflussung, die bei der Prüfung vor Ort eine Rolle spielen, sind bei der Gesamtbeurteilung zu berücksichtigen.

Bei der Gesamtbeurteilung ist außerdem zu berücksichtigen, dass es in Innenräumen nicht vorhersehbare zeitliche Schwankungen der Intensität, und damit einhergehend der Akzeptanz und auch der Hedonik gibt, die weitaus größer sein können als die Unsicherheiten der einzelnen punktuellen Messung. Um sich den realen Bedingungen bestmöglich anzunähern ist es daher sinnvoll, an mehreren Tagen Geruchsbeurteilungen durchzuführen. Zur Wahrung der Verhältnismäßigkeit ist es deshalb in vielen Fällen effektiver, in kurzem Abstand von einem bis wenigen Tagen mehrere Male mit kleineren Panels den gleichen Innenraum zu untersuchen als mit einem großen Panel das Geruchsereignis einmalig zu beurteilen. Unterschiedliche Gebäudedruckverhältnisse können auch durch den Einsatz eines Blower-Door-Gebläses simuliert werden (Damberger et. al. 2004).

9.2. EINFLUSSFAKTOREN DER BEWERTUNG

9.2.1. 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 Gebäudebereichs 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.

9.2.2. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

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

9.2.3. 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. Klimatische Parameter oder von den Nutzern verursachte Druckunterschiede im Gebäude selbst (Aufzüge, geöffnete Türen) können dazu führen, dass Gerüche nur intermittierend auftreten.

9.2.4. Nutzung des Raums

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

9.2.5. 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 üblichen (von der Zeit ab Einbringung in den Innenraum abhängigen) Geruchsintensität bzw. -qualität und einer unüblich hohen Geruchsintensität bzw. untypischen Geruchsqualität zu unterscheiden.

Einfluss auf die Bewertung nimmt auch, ob der Geruch als erwartete und damit allgemein akzeptierte Eigenschaft des angewendeten Bauprodukts 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 üblichen (von der Zeit ab Einbringung in den Innenraum abhängigen) Geruchsintensität und einer unüblich hohen Geruchsintensität zu unterscheiden.

9.2.6. Kognitive Strukturen bei der Beurteilung von Gerüchen

Kognitive Prozesse haben Einfluss auf die Geruchsbewertung, da Toxikopien und Erinnerungsreste an vergangene Belastungen aus der Umwelt bei den Menschen noch lange nachwirken (Cervinka und Neudorfer 2008). Auch bei Einsatz „objektiver“

externer Panels ist es nicht auszuschließen, dass es seitens der Prüfer auf Grund des Kontextes der Geruchsprüfung zu derartigen Verzerrungen kommt.

Bei der Bewertung der Ergebnisse der Prüfungen der Hedonik ist zu berücksichtigen, dass diese primär eher eine Stoffeigenschaft ist, die aber durch gelernte persönliche und kulturelle Muster modifiziert wird. Sie ist damit stark subjektiv gefärbt und kann bei Prüfern und Nutzern zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Erfahrungen im Außenluftbereich zeigten zudem, dass nicht die Intensität, sondern die hedonische Komponente bei der Geruchsbewertung hinsichtlich Akzeptanz und Zumutbarkeit dominiert (Sucker et al., 2008a,b).

9.3. BEURTEILUNG DER HYGIENISCHEN ZUMUTBARKEIT

Das Gesamtergebnis für die Feststellung, ob eine erhebliche Belästigung bzw. hygienischer Mangel vorliegt, wird mit dem juristischen Begriff der Zumutbarkeit zusammengefasst. Die Zumutbarkeit ist ein Begriff, die neben dem zentralen Punkt der Akzeptanz, der Intensität der Hedonik und der Geruchsqualität 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 Geruchs bewusst erfolgte oder ob der Geruch erwartet oder eine allgemein akzeptierte Eigenschaft der Quelle des Geruchs ist.

Eine formalisierte Bewertung auf Grundlage stringenter harter Kriterien (Skalen für Akzeptanz, Geruchsintensität oder Hedonik) ist bei sensorischen Geruchsbewertungen nicht möglich. Die folgenden Überlegungen können daher nicht rein formal im Sinne von Richtwerten angewendet werden, sondern sind als Grundlage einer situativ-integrativen Bewertung anzusehen

9.3.1. Beurteilung der Intensität und Hedonik

Unmittelbar nach Errichtung bzw. Ausstattung eines zur dauernden Nutzung bestimmten Innenraums sind, abhängig von den eingesetzten Materialien, Gerüche mit höherer Intensität möglich und werden in der Regel nicht als unzumutbarer Zustand angesehen. Deutlich unangenehm empfundene Gerüche (negative hedonische Bewertung) werden jedoch auch in diesem Zeitraum häufig als „nicht zumutbar“ betrachtet.

Bis zu einem Zeitpunkt von etwa 4 bis 6 Wochen nach Errichtung bzw. Ausstattung eines zur dauernden Nutzung bestimmten Innenraums werden im Allgemeinen maximal deutliche bzw. mittlere Gerüche (Intensitätsstufe 3) als zumutbar angesehen, sofern sie nicht als unangenehm klassifiziert werden. Stärkere Geruchsintensitäten werden in der Regel 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 angesehen. Deutliche bzw. mittlere Geruchsintensitäten bzw. als unangenehm (negative hedonische Bewertung) oder als für Materialien der Inneneinrichtung bzw. die Nutzungsart des

Raums als untypisch klassifizierte Gerüche werden in der Regel als nicht zumutbar betrachtet. Diese Überlegungen treffen auch für dauernd genutzte Innenräume zu, deren Vorgeschichte in Bezug auf Ausstattung oder Errichtung nicht bekannt ist.

9.3.2. Beurteilung der Akzeptanz

In der EN-15251¹ werden Anforderungen für das Raumklima in Gebäuden definiert. Die Anforderungen für Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik werden dabei vier Kategorien zugeordnet:

- Kategorie I: hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten
- Kategorie II: normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude
- Kategorie III: annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
- Kategorie IV: Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden

Für die Bewertung der Raumluftqualität und der damit erforderlichen notwendigen Luftaustauschrate wird im Anhang B der Norm jeder der genannten Kategorie erwartbare Prozentsatz der Nutzer definiert, der die Qualität der Raumluft als unzureichend bewertet.

- Kategorie I: $\leq 15\%$
- Kategorie II: $\leq 20\%$
- Kategorie III: $\leq 30\%$
- Kategorie IV: $> 30\%$

Auf Basis dieser Anforderungen kann der aus der Akzeptanzbewertung abgeleitete PD-Wert einer Geruchsprüfung interpretiert werden. Dazu wird eine Grenzwertprüfung unter Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit des Prüferpanels durchgeführt. Ausgehend vom ermittelten PD-Wert wird der Abstand zum prüfenden Grenzwert vor dem Hintergrund der Standardabweichung und einer definierten Irrtumswahrscheinlichkeit interpretiert. Dabei sind für die beiden Methoden „diskrete Skala“ und „stetige Skala“ unterschiedliche Ansätze notwendig (Schmidt und Thumulla 2010).

Prinzipiell eignet sich die diskrete Methode für ein großes Prüferpanel ($n \gg 10$) mit unbekannter Messunsicherheit. Die Berechnung des PD-Wertes über die stetige Methode liefert für kleine Prüferpanel mit bekannter Messunsicherheit genauere Ergebnisse.

¹ EN 15251:2007 - Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Stand 2007

Tabelle 4 zeigt die Zuordnung der der Akzeptanz bzw. PD-Werte zu den Kategorien der Raumluftqualität in Anlehnung an EN 15251. Dabei bedeuten:

PD-Wert in %: PD-Wert der für die Zuordnung zu den einzelnen Raumluftqualitätsklassen eingehalten sein muss:

Beurteilungswert für Akzeptanz: Umrechnung des PD-Wertes in die Akzeptanz nach Gunnarsen, L, Bluysen Ph (1994)

Akzeptanzkriterium (nicht validiertes Panel; stetige Skala) für ein Panel von 5 / 8 Prüfern

Akzeptanzkriterium (validiertes Panel; stetige Skala)

Anzahl der Prüfer die die Raumluft negativ bewerten (diskrete Skala) für ein Panel von 10 / 15 Prüfern

Dabei sind die Akzeptanzkriterien die Werte der Akzeptanz, die überschritten müssen, um eine Zuordnung in die jeweilige Kategorie unter Berücksichtigung der Messunsicherheit mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (\square) von 10% vornehmen zu können.

Tabelle 4

Kategorie	Beschreibung	PD in %	Beurteilungswert für Akzeptanz	Akzeptanzkriterium (nicht validiertes Panel; stetige Skala) für ein Panel von 5 / 8 Prüfern	Akzeptanzkriterium (validiertes Panel; stetige Skala)	Anzahl der Prüfer, die die Raumluft negativ bewerten (diskrete Skala) für ein Panel von 10 / 15 Prüfern
I	Hohes Maß an Erwartungen, empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten	≤ 15	$\geq 0,30$	$\geq 0,50 / \geq 0,54$	$\geq 0,42$	0 / 0
II	Normales Maß an Erwartungen, empfohlen für neue und renovierte Gebäude	≤ 20	$\geq 0,23$	$\geq 0,44 / \geq 0,48$	$\geq 0,36$	0 / ≤ 1
III	Annehmbares, moderates Maß an Erwartungen, kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden	≤ 30	$\geq 0,12$	$\geq 0,35 / \geq 0,39$	$\geq 0,26$	$\leq 1 / \leq 2$
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden	> 30	$< 0,12$	$\leq -0,18 / \leq -0,23$	$\leq -0,04$	$\geq 6 / \geq 8$

Hinweis: Die Anwendung dieser Tabelle ist nur gültig, wenn die Anforderungen an die Genauigkeit der Akzeptanzprüfung (Abschnitt 11.4) nachweislich erfüllt sind. Die angegebenen Akzeptanzkriterien ermöglichen die Zuordnung in die vorgestellten Kategorien nach EN 15251 auf Grundlage einer Grenzwertprüfung (Nichtunterlegenheitsprüfung, siehe Punkt 11.3.2) mit der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 10\%$.

9.3.3. Typische und untypische Gerüche

Wenn in einem Raum bzw. einem Gebäude Materialien, wie Holz, Fußbodenwachse, 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.

9.4. BEURTEILUNG EINES MANGELS

Aus rechtlicher Sicht ist die Beurteilung, ob ein Mangel hinsichtlich zivilrechtlicher Vorschriften vorliegt, letztlich im Vorgang der Subsumption durchzuführen. Hierbei sind zunächst die oben unter Kapitel 5.1 dargestellten Ausgangsvoraussetzungen bzw. Definitionen zu beachten.

Im zweiten Schritt ist die Abweichung von der Üblichkeit (oder falls die Voraussetzungen dafür von vertraglichen Gestaltungen vorliegen) festzustellen. Der eigentliche, juristische Bewertungsvorgang erfordert jedoch auch eine Unterscheidung nach der Wesentlichkeit oder Unwesentlichkeit einer Abweichung, nach Gefährdungspotenzialen, ggf. auch den Einbezug individueller Konstitutionen.

Diese Bewertung kann letztlich nur in Zusammenarbeit eines Juristen mit dem Sachverständigen erfolgen, weil dieser weitere Parameter der zu treffenden Entscheidung, insbesondere statistische Werte zu Abweichungen, beisteuern kann.

Letztlich muss die Entscheidung im rechtlichen Sinne dem Juristen überlassen bleiben; er muss jedoch bei jedem Schritt der Entscheidungsfindung auf fachliche Feststellungen zurückgreifen können, um die rechtliche Entscheidung objektivierbar und damit vermittelbar treffen zu können.

9.5. 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 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.

9.6. BEWERTUNG IM RAHMEN EINER GEBÄUDE-ZERTIFIZIERUNG

Die sensorische Geruchsprüfung durch ein Prüferpanel als Bestandteil einer Gebäudertzertifizierung sollte mindestens die Parameter Intensität, Hedonik und Akzeptanz unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren (siehe Kap. 9.2) umfassen. Die Bewertungskriterien sind vorher festzulegen und im Ergebnis mit anzugeben.

9.7. ERGÄNZENDE BEWERTUNGSVERFAHREN

Für eine Gesamtbeurteilung eines Geruchsereignisses 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.

Im Folgenden werden Publikationen aufgeführt, die zu einer Bewertung beitragen können:

- AGÖF-Orientierungswerte (AGÖF 2013)
- Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) beim Umweltbundesamt und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) – siehe insbesondere Basisschema von 1996 und Fortschreibung 2012 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1996, 2012); weitere Richtwerte sind zusammengestellt unter <http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>
- DIN EN ISO 5492 (2009): Sensorische Analyse – Vokabular. Berlin: Beuth
- DIN 10950 (2012): Sensorische Prüfung – 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 (Berichtigung 1 (2006)). Berlin: Beuth
- Verfahren von Fanger und Bluysen (Fanger 1988, Bluysen 1990)
- Klassifizierung der Raumlufthqualität nach EN 13779 (2008) Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen 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 (2013): Wirkung und Bewertung von Gerüchen - Erfassung der Geruchsbelästigung – Fragebogentechnik
- VDI 3940 Blatt 4 (2010): Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile
- Verfahren des Hermann-Rietschel-Instituts (HRI 2004, Müller et al. 2004)
- DIN EN 15251 (2012) Eingangsparmeter 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)

10. PRÜFBERICHT

Der Prüfbericht muss mindestens Folgendes 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 sind die Einzelergebnisse der Prüfer, der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der Ergebnisse anzugeben, die Einzelergebnisse der Prüfer können aufgelistet werden
- Ergebnisse der Beschreibung der Geruchsqualität; die Einzelergebnisse der Prüfer sind kumulativ aufzulisten
- Ergebnisse weiterer Bewertungsverfahren

11. FEHLERBETRACHTUNG UND QUALITÄTSSICHERUNG

11.1. ALLGEMEINES

Es wird angenommen, dass die geschulten Prüfer die Wahrnehmung des gesunden, normal empfindenden 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, normal empfindenden 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 Skaleneinheiten bei der Intensität einem doppelt so starken Intensitätsunterschied entspricht wie ein Anstieg um einen Skaleneinheit. 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 Skaleneinheiten 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.

Zur Verbesserung der Qualität ist mittelfristig anzustreben, dass die Panels regelmäßig an Ringversuchen teilnehmen.

11.2. STATISTISCHE GRUNDLAGEN

11.2.1. Messunsicherheit eines nicht validierten Panels

Der Schätzwert für die Lage der Verteilung ist das arithmetische Mittel der unabhängigen Urteile. Das arithmetische Mittel errechnet sich durch die folgende Gleichung 3:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Gleichung 3})$$

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 Gleichung 4 abgeschätzt:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Gleichung 4})$$

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

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 bei geschätzter Standardabweichung ist symmetrisch um den Mittelwert \bar{x} und errechnet sich gemäß Gleichung 6

$$\mu \in \left[\bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{(100-\alpha/2); n-1} \right] \text{ (Gleichung 6)}$$

Dabei ist:

μ Mittelwert der Verteilung der Population aller Urteile

\bar{x} arithmetischer Mittelwert der Einzelwerte

s Standardabweichung der Einzelwerte

n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)

$t_{(100-\alpha/2); n-1}$ 100- α /2 Perzentil der Student t-Verteilung bei n-1 Freiheitsgraden

11.2.2. Messunsicherheit eines validierten Panels

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, wodurch die statistische Sicherheit der Messergebnisse signifikant erhöht wird. Hierzu wird die Standardunsicherheit auf Basis dieser gepoolten Standardabweichung (Varianz) angegeben. Die gepoolte Standardabweichung ergibt sich aus folgender Gleichung 5:

$$s_{pool} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{k}} \text{ (Gleichung 5)}$$

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.

Das zweiseitige Konfidenzintervall bei bekannter Standardabweichung wird analog zur zum Konfidenzintervall eines nicht validierten Panels bestimmt und ist symmetrisch um

den Mittelwert \bar{x} . Grundlage für das Konfidenzintervall ist die gepoolte Standardabweichung des validierten Panels und errechnet sich gemäß Gleichung 7:

$$\mu \in \left[\bar{x} \pm \frac{s_{pool}}{\sqrt{n}} \cdot z_{(100-\alpha/2)} \right] \text{ (Gleichung 7)}$$

Dabei ist:

μ Mittelwert der Verteilung der Population aller Urteile

\bar{x} arithmetischer Mittelwert der Einzelwerte

s_{pool} gepoolte Standardabweichung des Prüferpanels

n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)

$z_{(100-\alpha/2)}$ 100- α / 2 Perzentil der Standardnormalverteilung

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.

11.3. 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 Geruchs-situation 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.

11.3.1. 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:

Nicht validiertes 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 wird die Nullhypothese anhand der Prüfgröße T auf Basis der Student t -Verteilung geprüft:

$$T = \frac{(\bar{x} - \mu_c) \sqrt{n}}{s} \quad (\text{Gleichung 9})$$

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.

Validiertes Panel

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:

$$u = \frac{(\bar{x} - \mu_c) \sqrt{n}}{\sigma} \quad (\text{Gleichung 8})$$

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.

11.3.2. 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 (Sicherheitsspanne) 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, $100-\alpha$ 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:

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

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 $\mu - x_{\text{lim}}$.

Nicht validiertes 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 Bereichs der Werte für P , die innerhalb des Konfidenzintervalls liegen und die mit dem Margin δ verglichen werden sollen, gemäß folgender Bedingung:

$$\bar{x} - x_{\text{lim}} \pm t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Gleichung 11})$$

Dabei ist:

P Bereich der Werte im Konfidenzintervall, die mit dem Margin δ verglichen werden sollen

\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)

Validiertes Panel

Der Bereich der Werte für P , die innerhalb des Konfidenzintervalls liegen und die mit dem Margin δ verglichen werden sollen, werden im Fall bekannter Varianz σ^2 der Wahrnehmungsverteilung wie folgt ermittelt:

$$\bar{x} - x_{\text{lim}} \pm z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{Bedingung 10})$$

Dabei ist:

- P Bereich der Werte im Konfidenzintervall, die mit dem Margin δ verglichen werden sollen
- \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
- $z_{100-\alpha}$ das 100- α 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).

11.4. ANFORDERUNGEN AN DIE GENAUIGKEIT DER GERUCHSPRÜFUNG

In Anlehnung an VDI 4302 Blatt 1 ist die halbe Breite des zweiseitigen 90%-Konfidenzintervalls (entspricht der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha=10\%$) Grundlage für die Beurteilung, ob die während einer Geruchsprüfung ermittelten Parameter Intensität, Hedonik und Akzeptanz mit ausreichender Genauigkeit ermittelt wurden. Nachfolgende Tabelle 5 zeigt die einzuhaltenden Anforderungen.

Tabelle 5: Einzuhaltenden Anforderungen an die Genauigkeit der Geruchsprüfung

Parameter	Messbereich	Einzuhaltende halbe Breite des zweiseitigen 90%-Konfidenzintervalls
Intensität	[0;5]	0,8
Hedonik	[-4;+4]	1,0
Akzeptanz	[-1;1]	0,2

12. LITERATUR

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

Ad-hoc Arbeitsgruppe (2012): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas . Bundesgesundheitsbl 55 (2012) 279–290

Ad-hoc-Arbeitsgruppe (2011): Stellungnahme der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK/AOLG (http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/dokumente/stellungnahme_der_ad_hoc_ag_zur_geruchsbewertung.pdf, Stand 03.10.13)

AGÖF (2013): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft 2013. In: Umwelt, Gebäude Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche & Schadstoffarmes Bauen; Ergebnisse des 10. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 24. und 25.10.2013 in Nürnberg

Arts JH, de Heer C, Woutersen RA (2006): Local effects in the respiratory tract: relevance of subjectively measured irritation for setting occupational exposure limits. Int Arch Occup Environ Health 79:283-98.

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 (2011): 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

Brauchle G (2003): Geruchsbelästigungen. Begriffsbestimmungen, Auswirkungen und Erhebungsverfahren. Unterrichtsmaterialien zur Fortbildung von Amtsärzten. alpS-Zentrum für Naturgefahrenmanagement, Innsbruck

Cervinka R, Neudorfer E (2008) Geruchswirkungsforschung am Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien. Internet vom 06.05.2011: <http://www.meduniwien.ac.at/umwelthygiene/geruch/forschungsergebnisse.html>

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

Dalton P (2000) Psychophysical and behavioral characteristics of olfactory adaptation. Chem Senses 25, 487-492

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

DeMaria S, Ngai J (2010): The cell biology of smell. *J Cell Biol.* 191: 443-52.

DIN EN ISO 5492 (2009): Sensorische Analyse – Vokabular. Berlin: Beuth

DIN 10950 (2012): Sensorische Prüfung – 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;. 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 Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme. Berlin: Beuth

DIN EN 15251 (2007): Eingangsparemeter 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

DIN EN ISO 16000-30 (2012) Entwurf: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 30: Sensorische Prüfung der Innenraumluft (ISO/DIS 16000-30:2012), 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

Fitzner C, Böttcher O (2004): Zur Ermittlung und Berechnung der empfundenen Stofflast. *Luft- und Kältetechnik* 6/2004

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 Ergänz. 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

Gutiérrez-Castellanos N, Martínez-Marcos A, Martínez-García F, Lanuza E (2010): Chemosensory function of the amygdala. *Vitam Horm.* 2010;83:165-96.

Hatt H. (2004): Molecular and cellular basis of human olfaction. *Chem Biodivers.* 1(12): 1857-69.

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

ISO/WD 16000-30 (2013): Indoor Air – Part 30: Sensory testing of indoor air. ISO/TC 146/SC 6N. Working draft vom 26.06.2013

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

Laudien JH (2005) Kognitive Modulation zentralnervöser Verarbeitung chemosensorischer Stimuli. Dissertation Univ. Kiel

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 B (2002): Entwicklung eines Gerätes zur Entnahme und Darbietung von Luftproben zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität, Dissertation an der TU Berlin

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

Müller B, Panašková J; Danielak M; Horn W; Jann O; Müller D (2011): Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten – Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das Bewertungsschema des Ausschusses zur Gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. Texte Nr. 35/2011, UBA-Deutschland

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

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

Salthammer T (2000): Verunreinigung der Innenraumluft durch reaktive Substanzen – Nachweis und Bedeutung von Sekundärprodukten. Teil III-6.4.2 des Handbuch für Bioklimatologie und Lufthygiene, 4. Erg. Lfg. 12/2000

Santen M (2010): Geruchsbegehungen im Rahmen der Sanierung historischer Gebäude In Umwelt, Gebäude & Gesundheit - Innenraumschadstoffe Fogging und Gerüche (S. 163-173) , Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe.

Schmidt M, Thumulla J (2010): Fehlerbetrachtung von Geruchsprüfungen anhand exemplarischer Auswertungen durchgeführter Untersuchungsprojekte. In Umwelt, Gebäude & Gesundheit - Innenraumschadstoffe Fogging und Gerüche, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe.

Schultz K, Braun J (2012): Probenahme von VOCs mit SupelTMInert-Film-Gasprobenahmebeuteln mit ThermogreenTM-LB-2-Septen als Alternative zu Tedlar[®]. Reporter. Deutsche Ausgabe 51

Shusterman D, (1992): Critical review: The health significance of environmental odor pollution. Archives of Environmental Health 47:76-87.

Steinheider B, (1997): Die Wirkungen von Industrierüchen als Umweltstressoren. Wiesbaden, Deutscher Universitätsverlag.

Sucker K, Both R, Bischoff M, Guski R, Winneke G (2008a) Odor frequency and odor annoyance. Part I: assessment of frequency, intensity and hedonic tone of environmental odors in the field. Int Arch Occup Environ Health 81(6): 671-82

Sucker K, Both R, Bischoff M et al. (2008b): Odor frequency and odor annoyance Part II: dose-response associations and their modification by hedonic tone. Int Arch Occup Environ Health 81(6):683-94.

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, Twardik F, Mitterer K (2006): Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen für die Erarbeitung von Vorgaben der Publikation „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“. 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. Springe-Eldagsen: AGÖF, 242-252

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

Tappler P, Moshhammer H, Hutter HP (2011): Österreichische Strategie zur sensorischen Bestimmung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen, in Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft 71 Nr. 10, S. 440-444

Thumulla J (2010): 1. Praxiserfahrungen des AGÖF-Leitfadens zur sensorischen Bestimmung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen im Neubau eines Bürogebäudes mit multifaktoriellen Geruchsproblemen In Umwelt, Gebäude & Gesundheit – Innenraumschadstoffe Fogging und Gerüche S. 146-162, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springer.

Thumulla J, Kroczeck C (2011): On-Site Analysis and Assessment - Method and Case Studies. Proc. INDOOR AIR '11, 11th International Conf. on Indoor Air Quality and Climate. Austin 2011, Odor, Mo.3.C.1

UBA (2008): Umweltbundesamt: Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden 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 (2013): Wirkung und Bewertung von Gerüchen - Erfassung der Geruchsbelästigung - Fragebogentechnik. Berlin: Beuth

VDI 3940 Blatt 4 (2012): Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile. Berlin: Beuth

VDI 4302 Blatt 1 (Entwurf 2012): Geruchsprüfung von Innenraumlufte und Emissionen aus Innenraummaterialien (Grundlagen)

VDI 4302 Blatt 2 (Entwurf 2012): Geruchsprüfung von Innenraumlufte und Emissionen aus Innenraummaterialien: Prüfstrategie für Geruchsprüfungen von Innenraumlufte

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>

Wilber K (2002): Das Wahre, Schöne, Gute. Geist und Kultur im 3. Jahrtausend. Fischer Verlag, Frankfurt am Main

Winneke G, Steinheider B (1998): Expositions-Wirkungs-Zusammenhänge für Geruchsbelästigungen und Beschwerden: Eine Übersicht. VDI-Berichte 1373: 361-371. VDI-Verlag, Düsseldorf

WOLKOFF P, CLAUSEN A, JENSEN B, NIELSEN G D and C. K. WILKINS: Are We Measuring the Relevant Indoor Pollutants? Indoor Air 1997; 7: 92-106

Wolkoff P, Wilkins C K, Clausen P A and Nielsen G D: Organic compounds in office environments – sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry, Indoor Air 2006; 16: 7–19.

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
muffig	2,4,6-Trichloranisol	87-40-1	altes Fertighaus, „Korkgeruch“

Geruchsqualität	Referenz (ähnlich wie)	CAS	Weitere Beschreibung
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 Kemseife
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	Nagellackentferne r
heizöl- dieselartig	längerkettige Alkane	Gruppe	
Brandgeruch	Schwefel-Stickstoff- Heterocyclen	Gruppe	
alter Tabakrauch	Schwefel-Stickstoff- Heterocyclen		

13.2. ANHANG 2: VORSCHLAG FÜR EIN GERUCHS- BEWERTUNGSFORMULAR

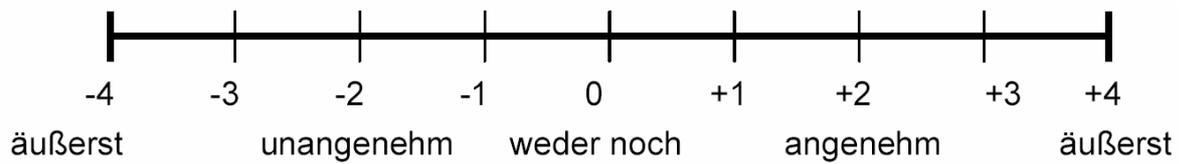
Projekt-Nr.		Auftraggeber	
Datum		Beginn der Prüfung	
Anlass der Prüfung		Ende der Prüfung	
Prüfer		Letzter Abgleich mit n- Butanol	
Ort der Prüfung:		Temperatur (°C)/	
Raumbezeichnung		Rel. Luftfeuchtigkeit (%)	

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

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

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:



Akzeptanz:

Der leitende Sachverständige entscheidet, welche der folgenden Alternativen verwendet wird.

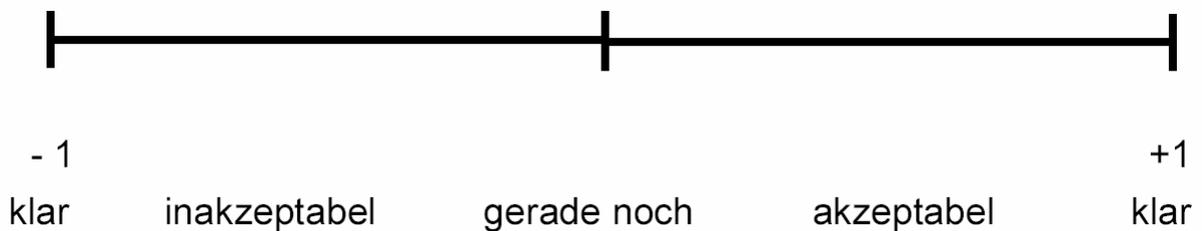
1) Ja/Nein-Abfrage

Die Frage, die bei der Ja-Nein-Abfrage an den Prüfer gestellt wird, lautet: "Stellen Sie sich vor, Sie müssten in Ihrem täglichen Lebensumfeld diesen Raum entsprechend seiner Bestimmung nutzen. Würden Sie den Geruch in diesem Raum unter Berücksichtigung der gegebenen Raumnutzung/-widmung als akzeptabel betrachten?"

Ja / Nein (Zutreffendes anzeichnen)

2) Stetige Skala

Die Frage, die bei der stetigen Skala an den Prüfer gestellt wird, lautet: "Stellen Sie sich vor, Sie müssten in Ihrem täglichen Lebensumfeld diesen Raum entsprechend seiner Bestimmung nutzen. Wie würden Sie den Geruch in diesem Raum unter Berücksichtigung der gegebenen Raumnutzung/-widmung in der dargestellten Skala einordnen?" 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	1	2	3	4	Mittelwert	Standard- abweichung
	Parameter						
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 5:

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

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)

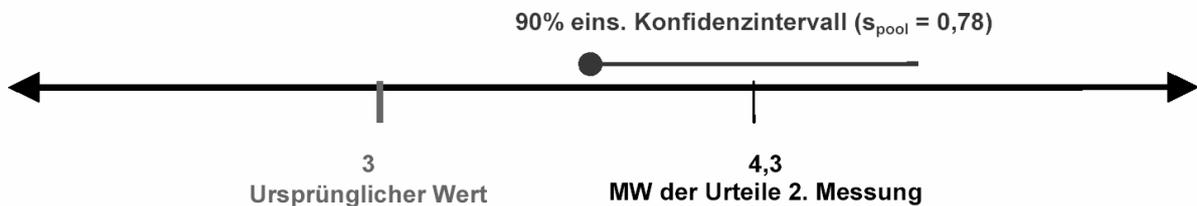
Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

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 7

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

Einsetzen in Gleichung 7 ergibt: $u = (4,3-3)*2/0,78 = 3,333$. 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.

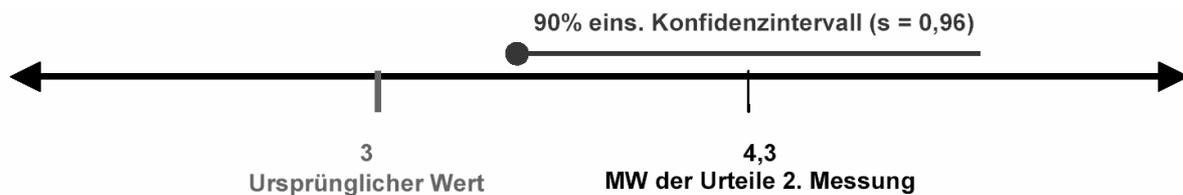
Setzen wir in diesem Beispiel nicht voraus, dass die Varianz der Intensitätsurteile bekannt ist, indem wir auf die gepoolte Schätzung zahlreicher Urteile des gleichen Panels zurückgreifen können, sondern dass die Urteile von anderen 4 Prüfern stammen. Wir nehmen an, dass sich ein Mittelwert der Intensitätsurteile 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- α = 90-te Perzentil der Student t-Verteilung (einseitig) beträgt 1,64.

Die Prüfgröße T errechnet sich aus der Gleichung 8:

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

Einsetzen in Gleichung (6) ergibt für den Prüfwert T : $(4,3-3)*2/0,96 = 2,71$ 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)

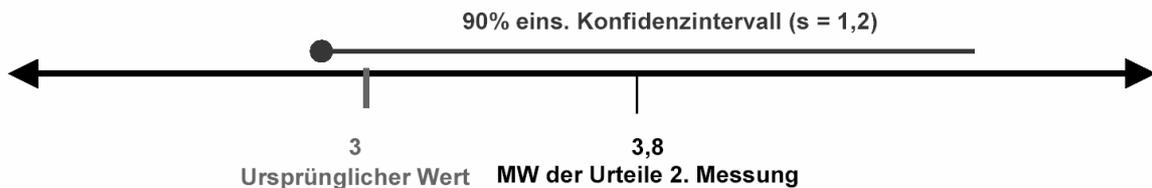
und die Alternativhypothese:

$H_1: \mu > 3$ (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 8. Einsetzen in diese Gleichung ergibt für den Prüfwert T : $(3,8-3) \cdot \sqrt{4} / 1,2 = 1,33$ 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 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. Die Werte P innerhalb des Konfidenzintervalls (von dem wir allerdings nur die untere Grenze brauchen, weil wir ein einseitiges Intervall bestimmen) zur Irrtumswahrscheinlichkeit α ergeben sich aus der Bedingung 9:

$$P \in \left[\bar{x} - x_{\text{lim}} - z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{x} - x_{\text{lim}} + z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

Dann ergibt sich gemäß Bedingung 9 ein Intervall von: $0,12 - 0 - 1,28 * 0,14 / 2 = 0,030$ bis $0,12 - 0 + 1,28 * 0,14 / 2 = 0,21$. 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.

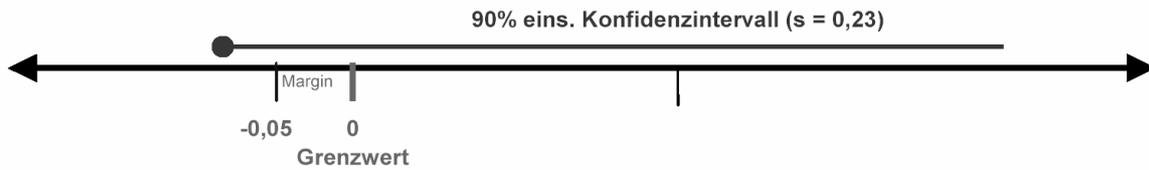
Nehmen wir nun an, dass wir die Varianz der Akzeptanzurteilverteilung nicht kennen. Die Standardabweichung der 4 Akzeptanzurteile dieser Prüfer sei 0,23. Bei 4 Prüfern haben wir 3 Freiheitsgrade und das $100 - \alpha = 90$ Perzentil der Student t-Verteilung (einseitig) beträgt 1,64.

Die Werte P innerhalb des Konfidenzintervalls (von dem wir allerdings nur die untere Grenze brauchen, weil wir ein einseitiges Intervall bestimmen) zur Irrtumswahrscheinlichkeit α ergeben sich aus der Bedingung 10:

$$P \in \left[\bar{x} - x_{\text{lim}} - t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}; \bar{x} - x_{\text{lim}} + t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

Einsetzen in Bedingung 10 ergibt den folgenden Bereich: $0,12 - 0 - 1,64 * 0,23 / 2 = -0,069$ bis

$0,12 - 0 + 1,64 * 0,23 / 2 = 0,31$. 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)

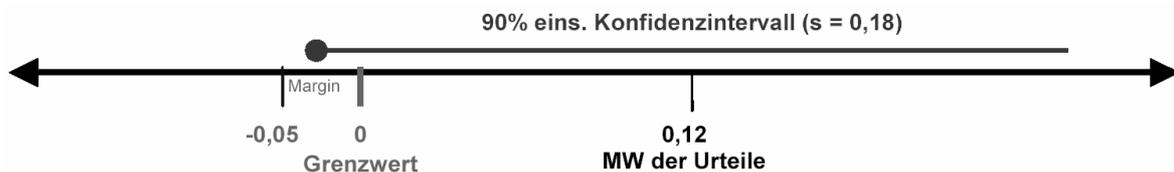
und die Alternativhypothese:

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

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 nun 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 α ergibt sich aus Bedingung 10 analog Beispiel E. Einsetzen in diese Gleichung ergibt den folgenden Bereich: $0,12 - 0 - 1,64 \cdot 0,18/2 = -0,028$ bis $0,12 - 0 + 1,64 \cdot 0,18/2 = 0,27$. 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)

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

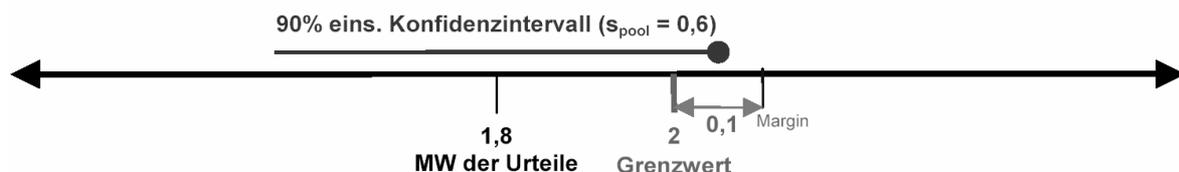
Die Prüfung ergab einen Mittelwert der Intensitätsurteile von 1,8.

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.

Die Werte P innerhalb des Konfidenzintervalls (von dem wir allerdings nur die obere Grenze brauchen, weil wir ein einseitiges Intervall bestimmen) zur Irrtumswahrscheinlichkeit α ergeben sich aus der Bedingung 9:

$$P \in \left[\bar{x} - x_{\text{lim}} - z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{x} - x_{\text{lim}} + z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

Dann ergibt sich gemäß Bedingung 9 ein Intervall von: $1,8 - 2 - 1,28 * 0,6 / \sqrt{16} = -0,44$ bis $1,8 - 2 + 1,28 * 0,6 / \sqrt{16} = 0,043$. 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.

Die Werte P innerhalb des Konfidenzintervalls (von dem wir allerdings nur die obere Grenze brauchen, weil wir ein einseitiges Intervall bestimmen) zur Irrtumswahrscheinlichkeit α ergeben sich aus der Bedingung 9:

$$P \in \left[\bar{x} - x_{\text{lim}} - t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}; \bar{x} - x_{\text{lim}} + t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

Einsetzen in Bedingung 10 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.

