



# **BEWERTUNG DER INNENRAUMLUFT**

## **GERÜCHE IN INNENRÄUMEN**

### **KONZEPT**

Der folgende Text wurde von den unten stehenden Autoren erstellt und von den TeilnehmerInnen des Arbeitskreises Innenraumlufte des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft approbiert.

Autorenverzeichnis In alphabetischer Reihenfolge:

Peter BRAUN (ALAB GmbH, Berlin)

Elke BRUNS (Umwelt- und Gesundheitsinstitut Bruns, Wittingen)

Bernhard DAMBERGER (IBO Innenraumanalytik OG, Wien)

Martin HOFFMANN (Gesellschaft für ökologische Bautechnik mbh, Berlin)

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

Michael KUNDI (Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien)

Wigbert MARAUN (ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel)

Hanns MOSHAMMER (Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien)

Gerald SALESCHAK (ÖTI, Wien)

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

Peter TAPPLER (Arbeitskreis Innenraumlufte am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien)

Jörg THUMULLA (anbus analytik GmbH, Fürth)

Felix TWRDIK (Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, Wien)

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

Da der Text noch weiteren Evaluierungen unterzogen wird, ist er als Konzept anzusehen. Kommentare und Kritik bitte an DI Peter Tappler:

p.tappler@innenraumanalytik.at

tel: +43-(0)664-3008093

Wien, 16.08.2011

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>ANWENDUNGSBEREICH.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>GRUNDLAGEN.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Historische Entwicklung der Geruchsbewertung.....</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Grundlagen der Geruchswahrnehmung.....</b>	<b>7</b>
3.2.1	Allgemeines zum Geruchssinn.....	7
3.2.2	Physiologie der Geruchswahrnehmung.....	8
<b>3.3</b>	<b>Physiologische und psychologische Wirkungen.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4</b>	<b>Geruchsqualitäten.....</b>	<b>11</b>
<b>3.5</b>	<b>Ursachen von Gerüchen in Innenräumen.....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>BEGRIFFSBESTIMMUNGEN.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>ZIELE DER SENSORISCHEN GERUCHSPRÜFUNG.....</b>	<b>13</b>
<b>5.1</b>	<b>Beurteilung eines Mangels oder der Zumutbarkeit eines Geruches.....</b>	<b>14</b>
<b>5.2</b>	<b>Kontrolle des Sanierungserfolges.....</b>	<b>14</b>
<b>5.3</b>	<b>Prüfung im Rahmen einer Gebäude-Zertifizierung.....</b>	<b>14</b>
<b>5.4</b>	<b>Ermittlung der Art des Geruches bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten.....</b>	<b>14</b>
<b>5.5</b>	<b>Ermittlung der Quelle eines festgestellten Geruches.....</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>MESSSTRATEGIE UND GRENZEN DER SENSORISCHEN PRÜFUNG.....</b>	<b>15</b>
<b>6.1</b>	<b>Strategien der Geruchsprüfung.....</b>	<b>15</b>
<b>6.2</b>	<b>Anzahl der Prüfer.....</b>	<b>16</b>
<b>6.3</b>	<b>Vorgehensweise bei der Ermittlung von Geruchsquellen.....</b>	<b>17</b>
<b>6.4</b>	<b>Grenzen der sensorischen Geruchsprüfung.....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN DIE PRÜFER.....</b>	<b>18</b>
<b>7.1</b>	<b>Grundanforderungen.....</b>	<b>18</b>
<b>7.2</b>	<b>Schulung.....</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>DURCHFÜHRUNG DER SENSORISCHEN PRÜFUNG.....</b>	<b>19</b>
<b>8.1</b>	<b>Auswahl der zu beprobenden Räume und Messpunkte.....</b>	<b>19</b>
<b>8.2</b>	<b>Zeitpunkt und Randbedingungen der Prüfung und Vorbereitung der Räumlichkeiten.....</b>	<b>19</b>
<b>8.3</b>	<b>Durchführung der direkten Geruchsprüfung.....</b>	<b>20</b>
8.3.1	Vorgehensweise zur direkten Geruchsprüfung.....	20
8.3.2	Prüfung der Intensität.....	21
8.3.3	Prüfung der Hedonik.....	23

8.3.4	Prüfung der Akzeptanz.....	23
8.3.5	Anteil der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen (PD).....	24
8.3.6	Beschreibung der Geruchsqualität .....	25
<b>9</b>	<b>GESAMTBURTEILUNG EINES GERUCHSEREIGNISSES .....</b>	<b>26</b>
<b>9.1</b>	<b>Rechtsvorschriften zu Gerüchen in Innenräumen.....</b>	<b>26</b>
<b>9.2</b>	<b>Allgemeines zur Beurteilung .....</b>	<b>27</b>
<b>9.3</b>	<b>Einflussfaktoren der Bewertung.....</b>	<b>27</b>
9.3.1	Zeitraum seit der Erstellung des Raumes .....	27
9.3.2	Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit .....	28
9.3.3	Windgeschwindigkeit und Luftwechsel.....	28
9.3.4	Nutzung des Raumes.....	28
9.3.5	Bewusste oder erwartete Freisetzung von Gerüchen .....	28
9.3.6	Kognitive Strukturen bei der Beurteilung von Gerüchen .....	29
<b>9.4</b>	<b>Beurteilung der hygienischen Zumutbarkeit.....</b>	<b>29</b>
<b>9.5</b>	<b>Bewertung des Sanierungserfolges.....</b>	<b>30</b>
<b>9.6</b>	<b>Bewertung im Rahmen einer Gebäudezertifizierung.....</b>	<b>30</b>
<b>9.7</b>	<b>Ergänzende Bewertungsverfahren.....</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>PRÜFBERICHT.....</b>	<b>32</b>
<b>11</b>	<b>FEHLERBETRACHTUNG UND QUALITÄTSSICHERUNG.....</b>	<b>33</b>
<b>11.1</b>	<b>Allgemeines.....</b>	<b>33</b>
<b>11.2</b>	<b>Statistische Grundlagen.....</b>	<b>34</b>
<b>11.3</b>	<b>Inferenzstatistische Auswertung.....</b>	<b>36</b>
11.3.1	Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen.....	36
11.3.2	Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines bestimmten Kriteriums .....	38
<b>12</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>41</b>
<b>13</b>	<b>ANHÄNGE .....</b>	<b>46</b>
<b>13.1</b>	<b>ANHANG 1: Beschreibung von Geruchsqualitäten .....</b>	<b>46</b>
<b>13.2</b>	<b>ANHANG 2: Vorschlag für ein Geruchsbewertungsformular.....</b>	<b>48</b>
<b>13.3</b>	<b>ANHANG 3 Berechnungsbeispiele Statistik.....</b>	<b>50</b>
13.3.1	Ermittlung der Standardunsicherheit eines Panels.....	50
13.3.2	Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen.....	52
13.3.3	Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines Kriteriums (Grenzwert) .....	55

## 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 gelten allgemein als Umweltstressoren (Winneke & Steinheider, 1998) und sind häufig Ursache von Beschwerden und Auseinandersetzungen. 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 Grund für die Zunahme von Beschwerden über Gerüche in Innenräumen ist, dass Gebäude aus energetischen Gründen immer luftdichter gebaut werden, ohne dass für einen hygienisch ausreichenden Luftwechsel gesorgt wird.

In der Praxis besteht in vielen Lebens- und Rechtsbereichen die Notwendigkeit, Entscheidungen über die Zumutbarkeit einer Geruchsbelästigung zu treffen, beispielsweise um einen behaupteten Mangel festzustellen (Gewährleistungsrecht), das Belästigungspotential in mietrechtlicher Hinsicht zu beurteilen oder festzustellen, ob ein Schadenersatzanspruch begründet ist.

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 sich aber aufgrund der besonderen Bedingungen in Innenräumen ausschließt. 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.

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 können zusätzlich zur Geruchsintensität weitere Parameter wie Hedonik, Akzeptanz und Geruchsqualität in die Bewertung einfließen.

## **2 ANWENDUNGSBEREICH**

Der Richtlinienteil „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 mittels Kategorienskala, 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. HRI 2004) werden nicht behandelt. Der Leitfaden behandelt auch nicht die Durchführung von chemisch-physikalischen Messungen von Geruchsstoffen in der Raumluft und andere mögliche Methoden der Bewertung von Gerüchen (siehe z.B. ISO/WD 16000-30), 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.

## **3 GRUNDLAGEN**

### **3.1 Historische Entwicklung der Geruchsbewertung**

Mitte des 19. Jahrhunderts schlug Max von Pettenkofer den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft als messbaren Indikator für die Verunreinigung der Luft vor (Pettenkofer 1858). Er betrachtete den Menschen, dabei vor allem die von ihm abgegebenen Geruchsstoffe, als die dominierende Verunreinigungsquelle für die Raumluft.

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

Ole Fanger stellte 1988 zwei neue Einheiten zur Beurteilung von Gerüchen in der Innenraumluft zur Diskussion (Fanger 1988). Die Verunreinigungslast wurde in der Einheit

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

Um die Anzahl der Probanden reduzieren zu können, hat 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).

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

## **3.2 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 Geschmackssinn) 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, 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 Ernährung als auch Sozialverhalten. Durch die Verbindung des Geruchsinns mit dem limbischen System haben Gerüche auch eine starke 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 cm<sup>2</sup> 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 Riechzelle, 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 (Bulbi olfactorii), 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.

### 3.3 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 Pupillenerweiterung oder 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 Geruchsreize auf das autonome Nervensystem 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 solchen bei Vergiftungen vergleichbar sind, ohne dass jedoch relevante Giftbelastungen vorhanden sind.

Die Geruchswahrnehmung beruht nicht nur auf den über den Riechnerven (1. Hirnnerv) übermittelten Informationen (Arts et al. 2006). Vielmehr ist auch der Nervus trigeminus (5. Hirnnerv) an der Geruchswahrnehmung beteiligt (stechende Geruchs Komponente). 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 ihre 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 Adaption 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 Trigeminus 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 einmaliger 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.

### **3.4 Geruchsqualitäten**

Bisher ist es nicht gelungen, die 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, die Innenraumgerüche berücksichtigt, ist in Anhang 1 zu finden.

### **3.5 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 Büroausstattung haben Einfluss auf die Entstehung von Gerüchen.

Eine weitere mögliche Quelle für Gerüche im Gebäude sind biologische Abbauvorgänge, bei denen Bakterien und Schimmelpilze, aber auch Tiere und Menschen geruchlich auffällige Stoffe produzieren. Ursachen können Bauschäden oder mangelhafte Raumlufttechnische Anlagen sein. Weitere Ursachen für Geruchsentwicklungen im Gebäude sind Feuerstätten (Kamin), Tabakrauch und gelagerte geruchsintensive Stoffe wie zum Beispiel Heizöl. Eine weitere Kategorie der Quellen liegt außerhalb des Raumes bzw. des Gebäudes und wird über Fenster, Lüftungsanlagen und Undichtigkeiten im Gebäude oder in der Gebäudehülle eingetragen. Einen guten Überblick über unterschiedliche Ursachen von Gerüchen in der Innenraumluft gibt Fromme (2010).

## 4 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

In diesem Leitfaden gelten die folgenden Begriffsbestimmungen.

### **Adaptation**

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

### **Akzeptanz**

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

### **Anosmie**

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

### **Geruchsqualität**

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

### **Intensität des Geruchs**

Stärke der Geruchsempfindung, die durch einen Geruchsreiz ausgelöst wird.

### **Hedonische Bewertung (Hedonik)**

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

### **Geruchsschwelle, Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle**

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

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

### **Probanden**

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

### **Prüfer**

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

### **Referenz**

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

### **Sensibilisierung**

Gesteigertes Geruchsempfinden durch Einwirkung eines Geruchsstoffs über einen längeren Zeitraum 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 werden die Nutzung bzw. Widmung des betreffenden Raumes, der Zeitraum, der seit Ausstattung eines Raumes vergangen ist sowie eine Bewertung der Geruchsquelle selbst berücksichtigt.

## **5 ZIELE DER SENSORISCHEN GERUCHSPRÜFUNG**

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

Im Rahmen dieses Leitfadens werden folgende Ziele unterschieden:

- Bewertung, ob 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 Geruches bzw. der vor Ort dominierenden Geruchskomponenten
- Ermittlung der Quelle eines festgestellten Geruches

### **5.1 Beurteilung eines Mangels oder der Zumutbarkeit eines Geruches**

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 der Bundesländer, 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 (in einer der Situation angemessenen Kombination) durchzuführen.

### **5.2 Kontrolle des Sanierungserfolges**

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

### **5.3 Prüfung im Rahmen einer Gebäude-Zertifizierung**

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

### **5.4 Ermittlung der Art des Geruches bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten**

Wenn die Art des Geruches bzw. der vor Ort dominanten Geruchskomponenten ermittelt werden soll, ist möglicherweise nur eine Prüfung der Geruchsqualität notwendig. Mit der Beschreibung des Geruches (s. Kapitel 8.3.6 und Anhang 1: „Beschreibung von Geruchsqualitäten“) können Verknüpfungen zu möglichen Quellen erstellt werden.

### **5.5 Ermittlung der Quelle eines festgestellten Geruches**

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

## 6 MESSSTRATEGIE UND GRENZEN DER SENSORISCHEN PRÜFUNG

### 6.1 Strategien der Geruchsprüfung

Messstrategien zur Prüfung von Gerüchen in Innenräumen sind:

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

Die unterschiedlichen Messstrategien zeigen in der Praxis eine Reihe von Vor- und Nachteilen. Nachstehend sind einige dieser Vor- und Nachteile exemplarisch aufgelistet.

Vorteile der sensorischen Bewertung der Raumluft vor Ort sind:

- Kontextbezogene Bewertung der Raumluft möglich
- Bei kleinen Panelgrößen und guter lokaler Verfügbarkeit von Prüfern kostengünstig
- Technischer Aufwand bei Probenahme gering
- Vorhandensein eines Geruchslabors nicht notwendig
- Möglichkeit der Wiederholung des Prüfvorganges vor Ort
- Sofortige Verfügbarkeit der Ergebnisse
- Gleichzeitiges Ermitteln der Quellen möglich

Nachteile der 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)
- Adaptation der Prüfer auf dem Weg zu Messort im Gebäude möglich
- Beschränkte Möglichkeit der Prüferanzahl bei kleinen Räumen, da in diesem Fall eine Beeinflussung des Geruchs der Raumluft durch die Prüfer selbst erfolgt

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

- Kontextunabhängige Bewertung der Raumluft möglich, Prüfer haben keine visuelle Kenntnis möglicher Quellen bei der Beurteilung
- Bei geringer lokaler Verfügbarkeit von Prüfern oder wenn Bestellung der Prüfer zum Ort der Prüfung 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. Zugerscheinungen, Licht oder Lärm) die Bewertung stören könnten

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

- Technischer Aufwand bei Probenahme und Prüfung wesentlich höher
- Vorhandensein eines Geruchslabors notwendig
- Möglichkeit der Wiederholung des Prüfvorganges im Labor
- Gefahr der Veränderung der Proben bei Transport und Lagerung durch hohe Temperatur beim Transport je nach Witterungsbedingungen, unzureichende Vorbehandlung der Probenbehälter oder lange Lagerzeiten
- Veränderung der Geruchsqualität und Intensität der Probe während Lagerung und Transport durch luftchemische Prozesse möglich

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

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

## **6.2 Anzahl der Prüfer**

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

In 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 Raumlufte 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 Raumes 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. 11 Fehlerbetrachtung). Ist es nicht möglich, mit wenigen Prüfern zu statistisch abgesicherten Ergebnissen zu gelangen, muss die Zahl der Prüfer erhöht und die Prüfung wiederholt werden.

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

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

### 6.3 Vorgehensweise bei der Ermittlung von Geruchsquellen

Im Unterschied zur Beurteilung der Luftqualität können beim Messziel „Quellensuche“ Prüfer hilfreich sein, die den Geruch kennen oder auch Personen, die selber von der Geruchsbelästigung betroffen sind, insbesondere wenn der Geruch intermittierend auftritt. Da sich Gerüche in der Regel gleichmäßig im Raum verteilen, wird in den wenigsten Fällen eine einfache Oberflächenprüfung durch geruchssensorische 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 Unterdruckes mit dem Ziel einer Inhomogenisierung der Geruchsverteilung im Raum (Damberger et al. 2004)
- Abgrenzung einzelner Oberflächen von der Raumluft, beispielsweise durch Einsatz von Messzellen aus Edelstahl oder Aluminiumfolien, mit dem Ziel der Anreicherung der Geruchsintensität im Kopfraum der Quelle bei eingeschränktem Luftwechsel
- Entnahme von Materialproben 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.

Vorgangsweisen dazu liefern die ONR 195702, die zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Richtlinienoteles als Konzept vorliegende ISO 16000-28 sowie eine Publikation des deutschen Umweltbundesamtes (Müller et al. 2011).

## 6.4 Grenzen der sensorischen Geruchsprüfung

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

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

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

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

## 7 ANFORDERUNGEN AN DIE PRÜFER

### 7.1 Grundanforderungen

Da der Einsatz menschlicher Sinnesorgane zu Prüfzwecken von der individuellen Eignung der Prüfperson abhängt, sind Grundanforderungen an die Prüfer nach ÖNORM S 5701 zu stellen.

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 nach ÖNORM S 5701 zu ermitteln und in Form einer Zertifizierung nachzuweisen.

### 7.2 Schulung

Eine Schulung in Bezug auf die Intensität eines Geruchs ist mittels des in ÖNORM S 5701 beschriebenen n-Butanol-Kalibrierstandards möglich.

Auswahl- und Schulungsverfahren, die zu gleichwertigen Ergebnissen führen, sind ebenfalls zulässig. So kann die Auswahl bzw. Schulung auch mittels eines nach oben offenen, numerischen Vergleichsmaßstabes durchgeführt werden, in der die Substanz Aceton eingesetzt wird (HRI 2004).

Das Intensitätstraining dient der Überprüfung der Fähigkeit, Intensitäten nach Vorgabe zu bewerten. Hinweise zu Grundlagen der Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfung können der DIN 10961 entnommen werden.

Zum Training des Geruchsgedächtnisses ist die Darbietung typischer Innenraumgerüche hilfreich. Die Tabelle im Anhang 1 kann als Hilfsmittel zur Beschreibung von Gerüchen herangezogen 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. Die Herstellung und der Einsatz der Kalibrierstandards für die Kalibrierung der Prüfer vor der Geruchsprüfung sind ebenfalls in ÖNORM S 5701 beschrieben.

### **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 Geruches 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 Geruchsbelastungen sollte die Geruchsprüfung mehrere Stunden nach einer gründlichen Lüftung erfolgen. Angaben zu diesen Zeitspannen finden sich im Allgemeinen Teil dieser Richtlinie und z. B. in EN ISO 16000-1 oder im Schulleitfaden des deutschen Umweltbundesamtes (UBA 2008). Zur Durchführung einer Prüfung unter Worst-case-Bedingungen sollten die Räume nach einer Grundlüftung mindestens 8 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 Geruchsbelastungen, deren Intensität sich über die Zeit verändert, kann die Ermittlung des Intensitätsverlaufs und der Dauer der Geruchsereignisse notwendig sein. In diesem Fall ist es sinnvoll, wiederholt Geruchsprüfungen vorzunehmen. Dabei sollten wenn möglich auch die Extremwerte (Geruchsminima und -maxima) erfasst werden. In mechanisch belüfteten Räumen sind Geruchsprüfungen grundsätzlich bei nutzungsüblichem Betrieb der Lüftungsanlage durchzuführen. Insbesondere bei zentral gesteuerten Lüftungsanlagen können zusätzlich Prüfungen bei unterschiedlichen Leistungsstufen sinnvoll sein.

Geruchsbegehungen können in einem genutzten Innenraum durchgeführt werden oder im Leerzustand, 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 Durchführung der direkten Geruchsprüfung**

#### **8.3.1 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 Geruches 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 Raumes mit Personen und gegebenenfalls Haustieren, die Aktivität der den Raum nutzenden Personen sowie ggf. die Leistungsstufe einer raumluftechnischen 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.

### **8.3.2 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 Tabelle 2 angeführt. Die Kalibrierung der Prüfer hinsichtlich der Kategorienskala erfolgt vor der Prüfungsdurchführung mittels wässriger Butanolstandards gemäß ÖNORM S 5701.

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.

Tabelle 2: Intensität des Geruches

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

Die Löslichkeit von Butanol in Wasser beträgt bei Raumtemperatur etwa 90 g/l (Gestis-Stoffdatenbank 2011), diese Konzentration entspricht somit einer gesättigten Lösung.

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.

### 8.3.3 Prüfung der Hedonik

Die Beurteilung der Hedonik erfolgt in Anlehnung an VDI 3882 Teil 2 als Eindruck unmittelbar nach Betreten des Raumes nach einer ganzzahlig skalierten und ungeteilten Strecke von äußerst unangenehm (-4) bis äußerst angenehm (+4) (siehe Abbildung). Die Endpunkte und die Mitte der Skala werden semantisch belegt. 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 Werte 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.

### 8.3.4 Prüfung der Akzeptanz

Die Beurteilung der Akzeptanz folgt den in Skandinavien (z. B. Dänemark) praktizierten Verfahren (ECA-IAQ 1999, Clausen 2000). Eine Akzeptanzbewertung nach der hier vorgeschlagenen Methode 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 Raumes aufgefordert, dessen Nutzungsart bzw. Widmung bei der Bewertung der Akzeptanz zu berücksichtigen.

Die Beurteilung der Akzeptanz erfolgt als Eindruck unmittelbar nach Betreten des Raumes grafisch nach einer unskalierten, in der Mitte unterteilten linearen Strecke (siehe Abbildung) von klar unakzeptabel bis klar akzeptabel. Die Endpunkte und der Mittelbereich der Skala werden semantisch belegt. 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 abgelesen. Die Gesamtbewertung für die Akzeptanz errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelergebnisse der Prüfer, wobei diese Zahl auf eine Nachkommastelle zu runden ist.

### 8.3.5 Anteil der mit der Raumlufthqualität Unzufriedenen (PD)

Abhängig von der Probandenzahl können zwei unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung der Anzahl der mit der Raumlufth Unzufriedenen (Percentage Dissatisfied) herangezogen werden:

#### 1. Direkte Auswertung des PD mittels diskreter Skala

Die direkte Auswertung des PD ist nur ab größeren Prüferzahlen von 15 sinnvoll (Thumulla & Schmidt 2010). Hierzu ist die Akzeptanz über folgende Frage mit einer Ja/Nein Entscheidung abzufragen: „Stellen Sie sich vor, sie müssten diesen Raum gemäß seiner Bestimmung nutzen, würden sie den Geruch als akzeptabel bewerten?“

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:

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

#### 2. Indirekte Auswertung des PD mittels stetiger Skala

Ausgehend von den ermittelten Werten der Akzeptanz kann auch der Anteil der mit der Raumlufthqualität Unzufriedenen (PD) 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 Raumlufth als völlig unakzeptabel oder nur gerade als unakzeptabel einstuft. Um diese

Informationsschärfe bei der Ermittlung der abgeschätzten prozentuelle Anzahl der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen zu erhalten, kann ein von Gunnarsen & Bluysen (1994) empirisch ermittelter Zusammenhang zwischen Akzeptanz und PD herangezogen werden:

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

PD = Anteil der mit der Raumluftqualität Unzufriedenen in % (Percentage Dissatisfied)

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 zur Ermittlung der Akzeptanz gilt.

### 8.3.6 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 GERUCHSEREIGNISSES

### 9.1 Rechtsvorschriften zu Gerüchen in Innenräumen

Verbindliche Grenz- oder Richtwerte für Geruchsstoffe in Innenräumen gibt es bisher weder für analytisch ermittelte noch für olfaktorisch identifizierte Geruchsstoffe. Es finden sich vereinzelt Regelungen bezüglich Gerüchen in diversen Landes – und Bundesgesetzen, diese betreffen jedoch hauptsächlich die Außenluft.

In diesem Zusammenhang werden einige Bestimmungen auszugsweise aufgelistet:

Tiroler Lichtspielgesetz, LGBl. Nr. 86/2003: § 3 Abs. 1 Z c besagt, dass öffentliche Veranstaltungen so durchzuführen und die hierfür verwendeten Betriebsanlagen in allen ihren Teilen so zu planen, herzustellen, zu errichten.....sind, dass sie Menschen weder durch Lärm, Geruch, Rauch, Erschütterungen, Wärme, Lichteinwirkung oder Schwingungen noch auf andere Weise unzumutbar belästigen.

Nach den diversen Bauordnungen der Länder ist darauf zu achten, dass bei der Baudurchführung unzumutbare Belästigungen durch Lärm, üblen Geruch und Staubentwicklung vermieden werden.

Nach den Landeselektrizitätsgesetzen und auch Abfallwirtschaftsgesetzen sollen Geruch, Staub und Rauch vermieden werden.

#### **Bundesgesetze:**

In der Gewerbeordnung, BGBl. Nr. 194/1994 idgF ist unter Belästigungen auch Geruch ausdrücklich angeführt. § 74 Abs.2 Z2 GewO. besagt, dass gewerbliche Betriebsanlagen nur dann genehmigt werden dürfen, wenn sie die Nachbarn nicht durch Geruch, Lärm, Rauch, Staub oder Erschütterungen belästigen.

1995 wurde vom damaligen Bundesministerium für Umwelt eine „vorläufige Richtlinie zur Beurteilung von Immissionen aus der Nutztierhaltung in Stallungen veröffentlicht. Hierin wird eine Formel zur Berechnung der Geruchszahl angegeben. Diese Richtlinie befindet sich derzeit in Überarbeitung.

Im Bundesluftreinhaltegesetz, BGBl. I Nr. 77/2010, steht im § 2 Abs. 2: „Beeinträchtigungen und Belästigungen Dritter durch Rauch und üble Gerüche sind – soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist – zu vermeiden.....“

In den „Umweltwissenschaftlichen Grundlagen und Zielsetzungen im Rahmen des Nationalen Umweltplans für die Bereiche Klima, Luft, Lärm und Geruch“ (ÖAW 1994 im Auftrag des ehemaligen BMUJF) wird eine Definition von „Belästigung“ und „Zumutbarkeit“ gegeben, da es sich bei „Geruchswahrnehmungen meistens um Belästigungen und nicht um Gesundheitsgefährdungen handelt“. Unter „Belästigung“ wird dabei eine Einwirkung auf den menschlichen Organismus verstanden, die in ihrer Art und Nachhaltigkeit eine Gefährdung des Lebens oder der Gesundheit nicht erreicht. Die Gewerbeordnung enthält

keine erschöpfende Aufzählung aller in Betracht kommenden Belästigungen, sondern es wird alles, was geeignet ist, zu belästigen und die entsprechenden Sinnesorgane anzusprechen, erfasst. Die Frage, ob Belästigungen der Nachbarn zumutbar sind, hängt nicht nur von der jeweiligen Immissionssituation ab, sondern ist auch danach zu beurteilen, wie sich die tatsächlichen örtlichen Verhältnisse z.B. durch eine Betriebsanlage ändern. Die Beurteilung der Zumutbarkeit hat sich auf die am meisten ausgesetzte Stelle zu beziehen. Der Maßstab ist der „gesunde, normal empfindende Erwachsene bzw. das gesunde, normal empfindende Kind“.

## **9.2 Allgemeines zur Beurteilung**

Die Gesamtbeurteilung eines konkreten Raumes 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 und Akzeptanz gibt es bisher keine allgemeine mathematische Beziehung.

Es werden die Bewertungen der durch die Einzelprüfer geprüften Parameter Intensität, Qualität, Akzeptanz und Hedonik sowie die eigene Beurteilung der Gesamtsituation seitens des leitenden Sachverständigen als Basis 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 Raumes sind zu berücksichtigen. Weiters ist zu beachten, dass der Kontext, im Rahmen dessen die Geruchsprüfung stattfindet, in die Beurteilung der Akzeptanz durch die Einzelprüfer 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.

## **9.3 Einflussfaktoren der Bewertung**

### **9.3.1 Zeitraum seit der Erstellung des Raumes**

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

In einem Zeitraum bis zu etwa 4 bis 6 Wochen nach der Erstellung bzw. Sanierung eines zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudebereiches kann es sich bei den im Untersuchungsbereich feststellbaren Gerüchen um übliche, herstellungsbedingte und zeitlich begrenzte Emissionen von Baustoffen handeln, deren Abklingverhalten in der Bewertung zu berücksichtigen ist. Das Abklingverhalten ist von der Materialart und dem Einbringverfahren (Applikation) abhängig. Es ist in der Praxis zu beobachten, dass mitunter Gerüche auf Grund kontextueller Veränderungen erst einige Zeit nach der Fertigstellung eines Innenraumes auftreten können.

### **9.3.2 Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit**

Die bei der Prüfung eines Innenraumes 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).

### **9.3.3 Windgeschwindigkeit und Luftwechsel**

Die Windgeschwindigkeit im Außenbereich, Temperatur- und Luftdruckdifferenz innen/außen sowie weitere Faktoren können einen maßgeblichen Einfluss auf den Luftwechsel (Tappler et al. 2006, 2008) und damit auch auf die Geruchsintensität haben. Durch klimatische Parameter oder von den Nutzern verursachte Druckunterschiede im Gebäude selbst (Aufzüge, geöffnete Türen) können dazu führen, dass Gerüche nur intermittierend auftreten.

### **9.3.4 Nutzung des Raumes**

Die Akzeptanz eines Geruches 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 im Hinblick auf die Luftqualität erwartet als in Nebenräumen, die nur fallweise betreten und benutzt werden.

### **9.3.5 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 Bauproduktes oder Materials angesehen wird. Beispiele sind der charakteristische Geruch eines Linoleumbodens, der Geruch nach Holz

bei Holzhäusern oder der Geruch nach Leinöl bei bestimmten Naturstoffen. Auch hier ist zwischen einer für das jeweilige Material üblichen (von der Zeit ab Einbringung in den Innenraum abhängigen) Geruchsintensität und einer unüblich hohen Geruchsintensität zu unterscheiden.

### **9.3.6 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).

## **9.4 Beurteilung der hygienischen Zumutbarkeit**

Das Gesamtergebnis für die Feststellung, ob eine Belästigung bzw. ein hygienischer Mangel vorliegt, wird mit dem (eigentlich juristischen) Begriff der Zumutbarkeit zusammengefasst. Die Zumutbarkeit ist ein Begriff, der neben Intensität, Hedonik und Akzeptanz des Geruchs die Nutzung bzw. Widmung des betreffenden Raumes, den Zeitraum, der seit Ausstattung eines Raumes vergangen ist und eine Bewertung der Geruchsquelle selbst berücksichtigt. Die Beurteilung der hygienischen Zumutbarkeit erfolgt mittels einer situativ-integrativen Bewertung durch den die Untersuchung leitenden Sachverständigen.

Die folgenden Überlegungen können nicht rein formal im Sinne von Richtwerten angewendet werden, sondern sind als Grundlage der durchzuführenden situativ-integrativen Bewertung anzusehen. Bei der Durchführung der Bewertung ist zu berücksichtigen, ob die Art der Nutzung bereits bei der Erhebung der Akzeptanz eingeflossen ist, ob die Freisetzung des Geruches bewusst erfolgte oder ob der Geruch erwartet oder eine allgemein akzeptierte Eigenschaft der Quelle des Geruches ist.

Unmittelbar nach Errichtung bzw. Ausstattung eines zur dauernden Nutzung bestimmten Innenraumes sind abhängig von den eingesetzten Materialien Gerüche mit höherer Intensität möglich und werden in der Regel nicht als unzumutbarer Zustand bzw. als Mangel angesehen. Als 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 Innenraumes 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 bzw. als Mangel 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 Raumes als untypisch klassifizierte Gerüche werden in der Regel als nicht zumutbar bzw. als Mangel betrachtet. Diese Überlegungen treffen auch für dauernd genutzte Innenräume zu, deren Vorgeschichte in Bezug auf Ausstattung oder Errichtung nicht bekannt ist.

Wenn in einem Raum bzw. einem Gebäude Materialien wie Holz, Fußbodenwache, Bodenbeläge usw. eingesetzt wurden, können deren „typische“ Gerüche in der Planung bewusst vorgesehen oder in Kauf genommen worden sein. Bei Neubauten und frisch renovierten Bereichen sind ggf. die von der Planung vorgegebenen Materialien und Konstruktionen zu berücksichtigen, um damit geplante von nicht geplanten geruchsbildenden Komponenten unterscheiden zu können. In der Regel bestehen für geplante und visuell einer Quelle zuordenbare Gerüche (z.B. Linoleum, Teppichboden) andere Akzeptanzschwellen als für nicht geplante. Maximal deutliche bzw. mittlere produkttypische Gerüche werden in der Regel über einen längeren Zeitraum (bis etwa 6 Monate nach Ausstattung der Räume) als zumutbar betrachtet.

### **9.5 Bewertung des Sanierungserfolges**

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

### **9.6 Bewertung im Rahmen einer Gebäudezertifizierung**

Die sensorische Geruchsprüfung durch ein Prüferpanel als Bestandteil einer Gebäudezertifizierung sollte mindestens die Parameter Intensität, Hedonik und Akzeptanz unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren (siehe Kap. 9.3) 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 angeführt, die zu einer Bewertung beitragen können:

- AGÖF-Orientierungswerte (AGÖF 2008)
- Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) beim Umweltbundesamt und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) – siehe insbesondere Basisschema von 1996 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1996); weitere Richtwerte sind zusammengestellt unter <http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>
- Verfahren der DIN EN 13725 – Luftbeschaffenheit, Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie
- Verfahren von Fanger und Bluysen unter Verwendung von Olf und Dezipol (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
- Deutsche Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL 2008)
- VDI 3882 Blatt 1 (1992): Olfaktometrie; Bestimmung der Geruchsintensität
- VDI 3882 Blatt 2 (1994): Olfaktometrie - Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung
- VDI 3883 Blatt 1 (1997): Wirkung und Bewertung von Gerüchen - Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung – Fragebogentechnik. (überprüft und bestätigt 2003)
- VDI 3940 Blatt 4 Entwurf (2008): Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile
- Verfahren des Hermann-Rietschel-Instituts (HRI 2004, Müller et al. 2004)
- DIN EN 15251 (2007) Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumlufthqualität, Temperatur, Licht und Akustik
- Deutsches Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG 2002)
- Technische Anleitung Luft (TA Luft 2002)

## 10 PRÜFBERICHT

Der Prüfbericht muss mindestens enthalten:

- Ort der Prüfung
- Datum und Uhrzeit der Prüfung
- Angaben zum eingesetzten Verfahren
- Angabe des die Untersuchung leitenden Sachverständigen
- Anzahl der Prüfer
- Umgebungsbedingungen (z. B. Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit, Lüftungsverhalten, Außenluftbedingungen)
- Angabe weiterer möglicher Einflussfaktoren auf die Bewertung
- Angabe von für die Fragestellung relevanten Beobachtungen (wie z. B. wahrgenommene Gerüche in angrenzenden Räumen oder im Außenbereich)
- Ergebnisse der sensorischen Geruchsprüfung im Hinblick auf die ermittelten Messgrößen; bei mehreren Prüfern sind die Einzelergebnisse der Prüfer, der arithmetische Mittelwert und die (gegebenenfalls gepoolte) Standardabweichung der Ergebnisse anzugeben
- 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 Skalenpunkte bei der Intensität einem doppelt so starken Intensitätsunterschied entspricht wie ein Anstieg um einen Skalenpunkt. Im Unterschied zu den Skalen für Akzeptanz und Hedonik werden bei der Intensitätsskala die Werte auf der Intensitätsskala anhand von n-Butanol-Konzentrationen verankert. Dabei wird deutlich, dass die Intensitätsskala annähernd (außer der niedrigsten und der höchsten Punktezahl) eine logarithmische Abstufung hinsichtlich der n-Butanol-Konzentration besitzt, was annähernd der Psychophysik der Geruchswahrnehmung entspricht. Obwohl die Wahrscheinlichkeitsverteilung unbekannt ist, können wir aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes annehmen, dass der Mittelwert der Skalenwerte der Prüfer angenähert eine Normalverteilung besitzt, sofern die Urteile nicht an den Skalenextremen liegen, was für alle praktisch bedeutsamen Fälle angenommen werden kann.

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

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

## 11.2 Statistische Grundlagen

Der Schätzwert für die Lage der Verteilung ist das arithmetische Mittel der unabhängigen Urteile. Das arithmetische Mittel errechnet sich durch folgende Gleichung 2:

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

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 3 abgeschätzt:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Gleichung 3})$$

Dabei ist:

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

Besteht ein bestimmtes Panel aus n Prüfern eine längere Zeit, dann empfiehlt es sich, die Urteilsstreuung nicht nur über eine einzelne Messserie, sondern über eine größere Zahl von Geruchssituationen zu schätzen. Die gepoolte Varianz innerhalb der Geruchssituationen kann dann als präzisere Schätzung der Urteilsvarianz herangezogen werden. In diesem Fall kann die Standardunsicherheit auf Basis dieser gepoolten Standardabweichung (Varianz) angegeben werden. Die gepoolte Standardabweichung ergibt sich aus folgender Gleichung 4:

$$s_{pool} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{k}} \quad (\text{Gleichung 4})$$

Dabei ist:

$s_{pool}$  gepoolte Standardabweichung

$s_i$  Standardabweichung des i-ten Durchgangs einer Geruchsprüfung im Hinblick auf eine Messmethode (Intensität, Hedonik oder Akzeptanz)

$k$  Anzahl der vom gleichen Panel durchgeführten Geruchsbewertungen

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

Die erreichte Genauigkeit der durchgeführten sensorischen Geruchsprüfung kann durch ein Konfidenzintervall für den Mittelwert ausgedrückt werden.  $\alpha$  bezeichnet die statistische Unsicherheit und  $100-\alpha$  die statistische Sicherheit. Um die Breite des Konfidenzintervalls zu berechnen, muss  $\alpha$  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  $\mu$ , den entsprechenden Mittelwert der Verteilung aller Urteile ein.

Das zweiseitige Konfidenzintervall ist symmetrisch um den Mittelwert  $\bar{x}$ . Alle Werte  $\mu$  innerhalb dieses Intervalls gehorchen folgender Bedingung 5:

$$\mu \in \left[ \bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{(100-\alpha/2);n-1} \right] \quad (\text{Bedingung 5})$$

Dabei ist:

$\mu$  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- $\alpha/2$ -Perzentil der Student-t-Verteilung bei  $n-1$  Freiheitsgraden

Das erreichbare Konfidenzintervall bei den sensorischen Geruchsprüfungen wird durch die Anzahl an Urteilen und die Standardabweichung der Bewertungen der Gruppe bestimmt. Mit zunehmender Zahl an Urteilen wird das Konfidenzintervall enger.

### 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 Geruchssituation bedeutsam von einer vorgegebenen Situation unterscheidet. Andererseits kann es relevant sein zu prüfen, ob eine vorliegende Geruchssituation einem gegebenen Kriterium entspricht, z.B. ob die Intensität einen Grenzwert unterschreitet. Diese Aufgaben sehen auf den ersten Blick äquivalent aus, sind jedoch, wie sich zeigen wird, deutlich voneinander abzugrenzen.

#### 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  $\mu$  der Verteilung formuliert. Diese Hypothese wird konventionell Nullhypothese genannt und mit  $H_0$  bezeichnet:

$$H_0: \mu = \mu_c$$

Dabei ist:

$\mu$  wahrer Mittelwert der Wahrnehmungsverteilung der zu vergleichenden Geruchssituation

$\mu_c$  Lageparameter der Wahrnehmungsverteilung der vorgegebenen Situation, zu der ein möglicherweise bestehender Unterschied erfasst werden soll.

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

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

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

Ist die Varianz  $\sigma^2$  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:

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

Dabei ist:

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

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

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

$$T = \frac{(\bar{x} - \mu_c)\sqrt{n}}{s} \quad (\text{Gleichung 7})$$

Dabei ist:

- $\bar{x}$  arithmetischer Mittelwert der zu vergleichenden Geruchssituation
- $\mu_c$  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.

### 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  $\delta$  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.  $\delta$  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:

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

Dabei ist:

$\mu$  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:

=

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

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

Die Prüfung erfolgt anhand des Konfidenzintervalls zur Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  für  $\mu - x_{lim}$ . Der Bereich der Werte für P, die innerhalb des Konfidenzintervalls liegen und die mit dem Margin  $\delta$  verglichen werden sollen, werden im Fall bekannter Varianz  $\sigma^2$  der Wahrnehmungsverteilung wie folgt ermittelt:

$$P \in \left[ \bar{x} - x_{\text{lim}} - z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{x} - x_{\text{lim}} + z_{100-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right] \quad (\text{Bedingung 8})$$

Dabei ist:

P Bereich der Werte im Konfidenzintervall, die mit dem Margin  $\delta$  verglichen werden sollen

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

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

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

$\sigma$  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  $\delta$  vom Kriterium  $x_{lim}$  entfernt, dann kann keine Aussage getroffen werden und es ist die Prüfung erneut durchzuführen (eventuell mit größerem Panel).

Kann die Varianz  $\sigma^2$  der Wahrnehmungsverteilung nur anhand der  $n$  Urteile, aus denen auch der Erwartungswert  $\mu$  geschätzt wird, mittels der Stichprobenvarianz  $s^2$  geschätzt werden, dann erfolgt die Berechnung des Bereiches der Werte für  $P$ , die innerhalb des Konfidenzintervalls liegen und die mit dem Margin  $\delta$  verglichen werden sollen, gemäß folgender Bedingung:

$$P \in \left[ \bar{x} - x_{lim} - t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}; \bar{x} - x_{lim} + t_{100-\alpha, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \right] \quad (\text{Bedingung 9})$$

Dabei ist:

$P$  Bereich der Werte im Konfidenzintervall, die mit dem Margin  $\delta$  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)

## 12 LITERATUR

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

Ad-hoc-Arbeitsgruppe (2011): Stellungnahme der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK/AOLG (unveröffentlicht)

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

[http://agoef.de/agoef/oewerte/photoarchiv/pdfs/AGOEF\\_Orientwerte](http://agoef.de/agoef/oewerte/photoarchiv/pdfs/AGOEF_Orientwerte)

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

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

BMLFUW (2009): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufthygiene. Erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumlufthygiene 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, Raumlufthygiene und Energieeinsparung; Ergebnisse des 7. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 04. und 05. März 2004 in München. Springer-Verlag: 272-277

- DeMaria S, Ngai J (2010): The cell biology of smell. *J Cell Biol.* 191(3):443-52.
- DIN 10950 Teil 1 (1999): Sensorische Prüfung – Teil 1: Begriffe. Berlin: Beuth
- DIN 10950 Teil 2 (2000): Sensorische Prüfung – Teil 2: Allgemeine Grundlagen. Berlin: Beuth
- DIN 10961 (1996): Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfung. Berlin: Beuth
- DIN EN 13725 (2003): Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003. Berlin: Beuth
- DIN EN 13725 Berichtigung 1 (2006): Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003, Berichtigungen zu DIN EN 13725:2003-07; Deutsche Fassung EN 13725:2003/AC:2006. Berlin: Beuth
- DIN EN 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
- 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](http://www.inive.org/medias/ECA/ECA_Report20.pdf)
- Fang L (1997): Impact of Temperature and Humidity on Perceived Indoor Air Quality, PhD thesis. Technical University of Denmark, Copenhagen
- Fanger PO (1988): Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. *Energy and Buildings* 12(1), 1-6
- Fischer J, Engler N, Seifert B (1998): Luftverunreinigungen und geruchliche Wahrnehmungen unter besonderer Berücksichtigung von Innenräumen, WaBoLu-Hefte 1/98, Hrsg.: Umweltbundesamt - Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, 1ff
- Gestis-Stoffdatenbank (2010): Stoffdatenblatt 1-Butanol, Kapitel: Physikalisch-chemische Eigenschaften. In: Gestis-Stoffdatenbank. Internet vom 17.07.2010: <http://www.dguv.de/bgia/de/gestis/stoffdb/index.jsp>
- GIRL (2008): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Deutschland (MUNLV NRW). Fassung vom 29. Februar 2008 und Ergänzung 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>
- Gutiérrez-Castellanos N, Martínez-Marcos A, Martínez-García F, Lanuza E (2010): Chemosensory function of the amygdala. *Vitam Horm.* 2010;83:165-96.
- Gunnarsen, L, Bluysen Ph (1994): Sensory Measurements Using Trained and Untrained Panels, Healthy Building 94, Budapest

- 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](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
- DIN ISO 16000-28 Konzept (2010): Innenraumluftverunreinigungen – Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer (ISO/DIS 16000-28) vom Juli 2010
- ISO/WD 16000-30 (2011): Indoor Air – Part 30: Sensory testing of indoor air. ISO/TC 146/SC 6N. Working draft vom 11.06.2011
- 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](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_23_geruchsbelaestigungen.pdf)
- Lötsch J, Lange C & Hummel T (2004): A simple and reliable method for clinical assessment of odor thresholds. *Chem. Senses* 29, 311-317
- Müller D, Bitter F, Böttcher O, Kasche J & Müller B (2004): Neue Systematik zur Bewertung der empfundenen Luftqualität. *HLH* 55(12), 52-57
- 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
- ÖAW (1994): Umweltwissenschaftliche Grundlagen und Zielsetzungen im Rahmen des Nationalen Umweltplans für die Bereiche Klima, Luft, Lärm und Geruch“. Studie im Auftrag des ehemaligen BMUJF, Band 17
- ÖNORM EN 13779 (2008): Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlungssysteme. Ausgabe: 2008-01-01
- ÖNORM S 5701 (2008): Sensorische Bestimmung der Intensität und Art von Gerüchen in der Innenraumluf – Anforderungen für Vor-Ort-Prüfungen. Wien: ON Österreichisches Normungsinstitut
- ONR 195702 (2009): Sensorische Bestimmung der Intensität und Art von Gerüchen von Bauprodukten und Luftproben aus dem Innenraum - Anforderungen für Prüfungen im Labor. Ausgabe: 2009-05-01

- Pettenkofer M von (1858): Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. München: Cotta, 72
- Pöhle H (1994): Geruchsemission bei der Kompostierung von Bioabfällen. Dissertation. Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig, 94 f.
- 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.
- Schön M, Hübner R (1996): Geruch: Messung und Beseitigung. Würzburg: Vogel
- 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, Twrdik 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. Springer-Eltdagsen: AGÖF, 242-252
- Tappler P, Damberger B, Twrdik F, Mitterer K (2008): Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen. *Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft*, März 2008. Springer Verlag. 87-91
- Theuer W, Sprinzl A, Tappler P (1995): Luftverunreinigungen in Innenräumen. Wien: Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen
- VDI 3882 Blatt 1 (1992): Olfaktometrie; Bestimmung der Geruchsintensität. Berlin: Beuth
- VDI 3882 Blatt 2 (1994): Olfaktometrie - Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung. Berlin: Beuth
- VDI 3883 Blatt 1 (1997): Wirkung und Bewertung von Gerüchen - Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung - Fragebogentechnik. Berlin: Beuth
- VDI 3940 Blatt 4 (2010): Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile. Berlin: Beuth

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

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

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

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	$\alpha$ -Pinen	7785-70-8	frisches, harziges Nadelholz
spanplattenartig	Terpene, Aldehyde		
korkartig	Aldehyde		
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

## Gerüche in Innenräumen

schimmelig/modrig	Geosmin	19700-21-1	feuchter Keller
muffig	2,4,6-Trichloranisol	87-40-1	altes Fertighaus, „Korkgeruch“
faulig	Methanthiol (Methylmercaptan)	74-93-1	fauler Kohl, Schlachthof
urinartig	Ammoniak	7664-41-7	Stallgeruch
fäkalienartig	Dimethylsulfid	75-18-3	
verwesungsartig	Kadaverin (Diaminopentan)	462-94-2	
schweißig (verschwitzt)	Isovaleriansäure	503-74-2	
wachsartig	Paraffin	Gruppe	
leinöligartig	höhere Aldehyde	Gruppe	
linoleumartig	höhere Aldehyde	Gruppe	
seifig			unparfümierte Kernseife
möbellackartig	Butylacetat	123-86-4	
lederartig			
phenolisch	o- Kresol	95-48-7	Sherry
mottenkugelartig	Naphthalin	91-20-3	
carbolineumartig	PAK	Gruppe	Bahnschwellen
teerartig	Methylnaphtaline	Gruppe	
bitumenartig	Bitumen		
betonartig	ausgehärteter Beton		
gipsartig	ausgehärteter Gips		
kunststoffartig	1-Hexen-3-on	592-41-6	
latexartig	4-Phenylcyclohexen	4994-16-5	textiler Bodenbelag
gummiartig	4-Chlor-2-isopropyl-5- methyl-phenol	89-68-9	
Styrol, stechend	Styrol	100-42-5	
chlorartig			Schwimmbad
lösungsmittelartig, aromatisch	Toluol	108-88-3	
Lösungsmittelartig, süßlich	Ethylacetat	141-78-6	Nagellackentferner
heizöl-, dieselartig	längerkettige Alkane	Gruppe	
Brandgeruch	Schwefel-Stickstoff- Heterocyclen	Gruppe	
alter Tabakrauch	Schwefel-Stickstoff- Heterocyclen		

**13.2 ANHANG 2: Vorschlag für ein Geruchsbewertungsformular**

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



### 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				Mittelwert	Standard- abweichung
Parameter		1	2	3	4		
<b>Prüfung 1</b>	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
<b>Prüfung 2</b>	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
<b>Prüfung 3</b>	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
<b>Prüfung 4</b>	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
<b>Prüfung 5</b>	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
<b>Prüfung 6</b>	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
<b>Prüfung 7</b>	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 4:

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

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)

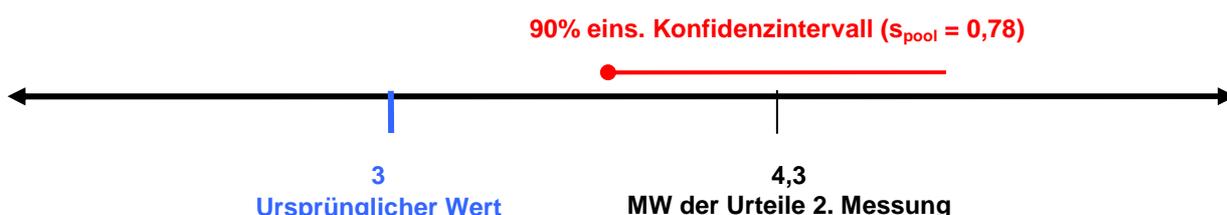
Als Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  legen wir 10% zugrunde.

Nehmen wir an, dass der wahre Wert der Verteilung der Urteile des Prüferpanels (Streuung) bekannt ist. Das  $100-\alpha = 90$ -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  $\sigma$  voraussetzen.

Die Prüfgröße  $u$  errechnet sich aus der Gleichung 6:

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

Einsetzen in Gleichung 6 ergibt:  $u = (4,3-3) \cdot 2 / 0,78 = 3,333$ . Dieser Wert ist größer als der Prüfwert von 1,28 und daher verwerfen wir die Nullhypothese und nehmen an, dass die Geruchsintensität in dem geprüften Raum bei der neuerlichen Prüfung größer als der ursprüngliche Wert 3 ist.



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

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

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

und die Alternativhypothese:

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

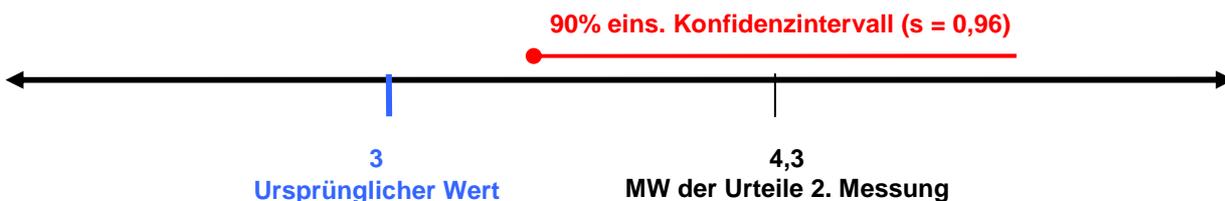
Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

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

Die Prüfgröße T errechnet sich aus der Gleichung 7:

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

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



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

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

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

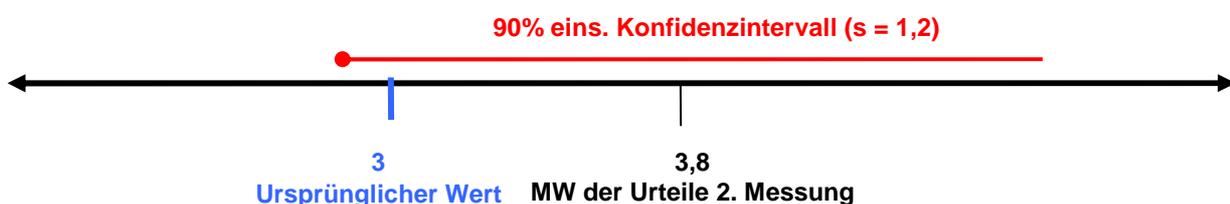
und die Alternativhypothese:

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

Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

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

Die Prüfgröße T errechnet sich wieder aus der Gleichung 7. 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  $\delta$  wird mit -0,05 angenommen.

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

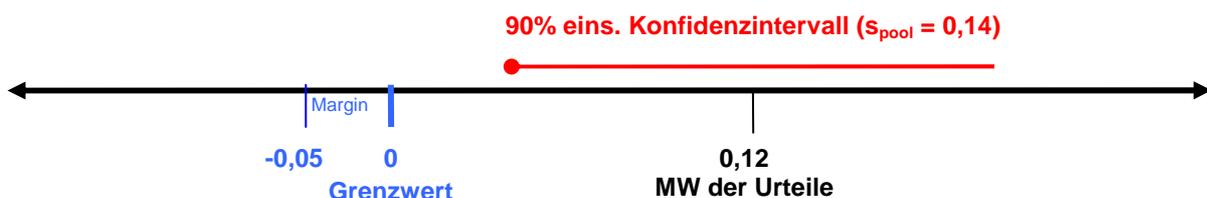
$H_0: \mu - 0 < -0,05$  (einseitige Prüfung, Annahme, die Geruchssituation ist inakzeptabel) und die Alternativhypothese:

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

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  $\sigma$  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  $\alpha$  ergeben sich aus der Bedingung 8:

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

Dann ergibt sich gemäß Bedingung 8 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  $\delta$  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:

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

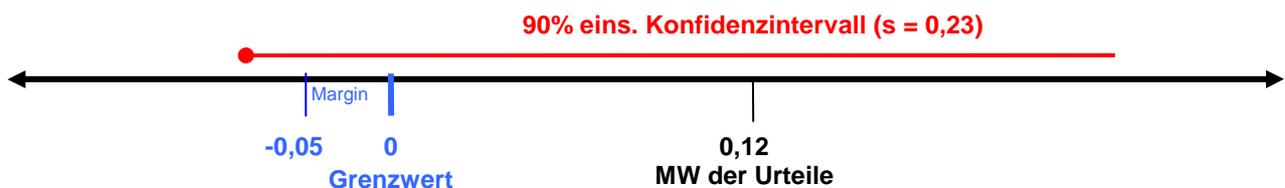
Die Prüfung ergab auch hier einen Mittelwert der Akzeptanzurteile von 0,12.

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  $\alpha$  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 9 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  $\delta$  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)

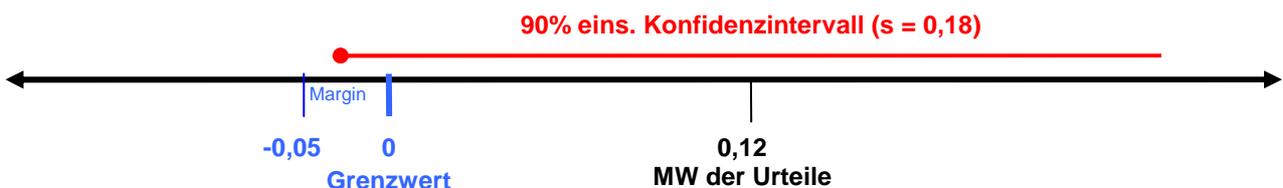
und die Alternativhypothese:

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

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  $\alpha$  errechnet sich aus Bedingung 9 analog Beispiel E. Einsetzen in diese Gleichung ergibt den folgenden Bereich:  $0,12 - 1,64 * 0,18 / 2 = -0,028$  bis  $0,12 - 0 + 1,64 * 0,18 / 2 = 0,27$ . 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  $\delta$  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)

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

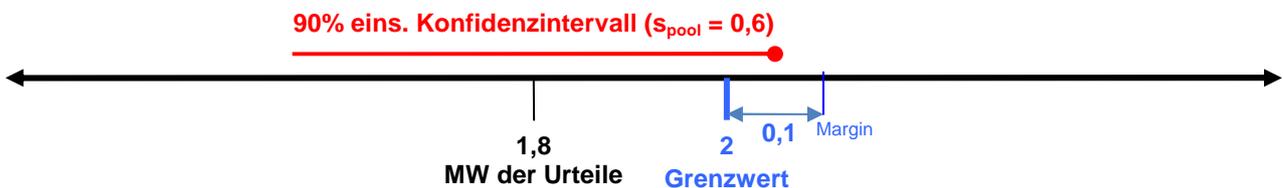
Die Prüfung ergab einen Mittelwert der Intensitätsurteile von 1,8.

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  $s_{pool} = 0,6$  als den wahren Wert der Verteilung der Intensitätsurteile des Prüferpanels  $\sigma$  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  $\alpha$  ergeben sich aus der Bedingung 8:

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

Dann ergibt sich gemäß Bedingung 8 ein Intervall von:  $1,8 - 2 - 1,28 * 0,6 / \sqrt{10} = -0,44$  bis  $1,8 - 2 + 1,28 * 0,6 / \sqrt{10} = 0,043$ . 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  $\delta$  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  $\alpha$  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 9 ergibt den folgenden Bereich:  $1,8 - 2 - 1,38 * 0,9 / \sqrt{10} = -0,59$  bis  $1,8 - 2 + 1,38 * 0,9 / \sqrt{10} = 0,19$ . 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.

