

AGÖF-LEITFADEN

„GERÜCHE in INNENRÄUMEN

—

SENSORISCHE BESTIMMUNG UND BEWERTUNG“

ENTWURF

EINSPRUCHSFRIST BIS 31.03.2011

VERSION : 12.09.2010

Dieser Leitfaden-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegt.

Stellungnahmen werden erbeten bis 31.03.2011 an den Herausgeber.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung auch von Teilen außerhalb des Urheberrechtgesetzes ist ohne Zustimmung der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Autoren, Herausgeber und Verlag, redaktionelle Mitarbeiter und Herstellungsbetriebe haben das Werk nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Inhaltliche und technische Fehler sind jedoch nicht vollständig auszuschließen.

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

HERAUSGEBER:

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

Autorenverzeichnis

In alphabetischer Reihenfolge

Peter BRAUN

(ALAB GmbH, Berlin)

Elke BRUNS (

Umwelt- und Gesundheitsinstitut Bruns, Wittingen)

Bernhard DAMBERGER

(IBO Innenraumanalytik OG, Wien)

Martin HOFFMANN

(Gesellschaft für ökologische Bautechnik mbh, Berlin)

Hans-Peter HUTTER

(Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien)

Michael KUNDI

(Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien)

Wigbert MARAUN

(ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel)

Manfred SANTEN

(Sachverständiger für Gebäude- und Innenraumschadstoffe, Hamburg)

Peter TAPPLER

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

Jörg THUMULLA

(anbus analytik GmbH, Fürth)

Felix TWRDIK

(Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, Wien)

Inhaltsverzeichnis

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

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

1. EINLEITUNG

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

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

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

2. ANWENDUNGSBEREICH

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

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

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

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

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

3. GRUNDLAGEN

3.1. HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER GERUCHSBEWERTUNG

Mitte des 19. Jahrhunderts schlug Max von Pettenkofer den CO₂-Gehalt der Raumlufth 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 Raumlufth.

1936/1937 beschrieb Yaglou bei seinen Raumklimauntersuchungen erstmalig eine subjektive Methode zur Bewertung der Innenraumlufthqualität (Yaglou 1936). Die Innenraumlufth 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 Innenraumlufth 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 Innenraumlufth werden Luftproben vor Ort in Säcken gezogen, in ein geeignetes Geruchslabor transferiert und dort sensorisch bewertet (HRI 2004).

3.2. PHYSIOLOGIE DER GERUCHSWAHRNEHMUNG

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

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

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

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

3.3. PHYSIOLOGISCHE UND PSYCHOLOGISCHE WIRKUNGEN

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

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

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

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

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

3.4. URSACHEN VON GERÜCHEN IN INNENRÄUMEN

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

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

4. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

In diesem Leitfaden gelten die folgenden Begriffsbestimmungen.

Adaptation

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

Akzeptanz

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

Anosmie

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

Geruchsqualität

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

Intensität des Geruchs

Stärke der Geruchsempfindung, die durch einen Geruchsreiz ausgelöst wird.

Hedonische Bewertung (Hedonik)

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

Geruchsschwelle, Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle

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

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

Probanden

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

Prüfer

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

Referenz

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

Sensibilisierung

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

Zumutbarkeit

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

5. ZIELE DER SENSORISCHEN GERUCHSPRÜFUNG

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

Im Rahmen dieses Leitfadens werden folgende Ziele unterschieden:

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

5.1. BEURTEILUNG DER ZUMUTBARKEIT EINES GERUCHES

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

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

5.2. KONTROLLE DES SANIERUNGSERFOLGES

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

5.3. PRÜFUNG IM RAHMEN EINER GEBÄUDE-ZERTIFIZIERUNG

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

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

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

5.5. ERMITTLUNG DER QUELLE EINES FESTGESTELLTEN GERUCHES

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

6. MESSTRATEGIE UND GRENZEN DER SENSORISCHEN PRÜFUNG

6.1. STRATEGIEN DER GERUCHSPRÜFUNG

Messstrategien zur Prüfung von Gerüchen in Innenräumen sind:

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

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

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

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

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

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

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

6.2. ANZAHL DER PRÜFER

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

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

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

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

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

6.3. VORGEHENSWEISE BEI DER ERMITTLUNG VON GERUCHSQUELLEN

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

Folgende weitere Maßnahmen können zur Quellensuche angewendet werden:

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

6.4. GRENZEN DER SENSORISCHEN GERUCHSPRÜFUNG

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

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

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

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

7. FEHLERBETRACHTUNG

7.1. ALLGEMEINES

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

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

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

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

7.2. STATISTISCHE GRUNDLAGEN

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

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

Dabei ist:

\bar{x} arithmetischer Mittelwert der Einzelwerte

n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)

x_i die im Rahmen einer Prüfung ermittelten Einzelwerte der Prüfer

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

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

Dabei ist:

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

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

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

Dabei ist:

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

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

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

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

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

Dabei ist:

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

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

7.3. INFERENZSTATISTISCHE AUSWERTUNG

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

7.3.1. Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen

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

$$H_0: \mu = \mu_c$$

Dabei ist:

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

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

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

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

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

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

Dabei ist:

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

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

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

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

Dabei ist:

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

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

7.3.2. Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines bestimmten Kriteriums

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

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

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

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

Dabei ist:

μ wahrer Mittelwert der zu prüfenden Geruchssituation

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

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

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

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

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

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

Dabei ist:

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

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

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

σ als bekannt vorausgesetzte Standardabweichung der Wahrnehmungsverteilung

n Anzahl der Prüfer (der Stichprobenumfang)

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

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

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

Dabei ist:

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

7.4. EXEMPLARISCHE ANWENDUNG DER FEHLERBETRACHTUNG

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

8. ANFORDERUNGEN AN DIE PRÜFER

8.1. GRUNDANFORDERUNGEN

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

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

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

8.2. NACHWEIS DER SENSORISCHEN FÄHIGKEITEN

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

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

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

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

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

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

9. DURCHFÜHRUNG DER SENSORISCHEN PRÜFUNG

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

9.1. AUSWAHL DER ZU BEPROBENDEN RÄUME UND MESSPUNKTE

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

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

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

9.2. ZEITPUNKT UND RANDBEDINGUNGEN DER PRÜFUNG

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

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

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

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

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

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

9.3. HERSTELLUNG DER KALIBRIERSTANDARDS

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

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

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

9.4. VORBEREITUNG DER PRÜFER AUF DIE SENSORISCHE GERUCHSPRÜFUNG

9.4.1. Allgemeine Anforderungen

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

9.4.2. Kalibrierung des Geruchssinns beim Messziel Intensitätsbestimmung

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

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

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

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

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

9.5. DURCHFÜHRUNG DER DIREKTEN GERUCHSPRÜFUNG

9.5.1. Vorgehensweise zur direkten Geruchsprüfung

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

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

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

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

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

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

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

9.5.2. Prüfung der Intensität

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

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

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

Tabelle 2: Intensität des Geruches

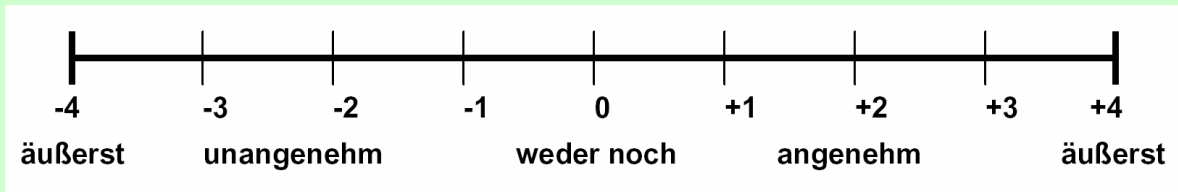
Intensitätsstufe	Verbale Beschreibung der Hauptkategorie	Konzentration n-Butanol in Wasser [mg/l]
0	geruchlos	
0,25		
0,5		
0,75		
1	sehr schwacher Geruch	1.000
1,25		
1,5		
1,75		
2	schwacher Geruch	5.000
2,25		
2,5		
2,75		
3	deutlicher bzw. mittlerer Geruch	25.000
3,25		
3,5		
3,75		
4	starker Geruch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

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

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

9.5.3. Prüfung der Hedonik

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



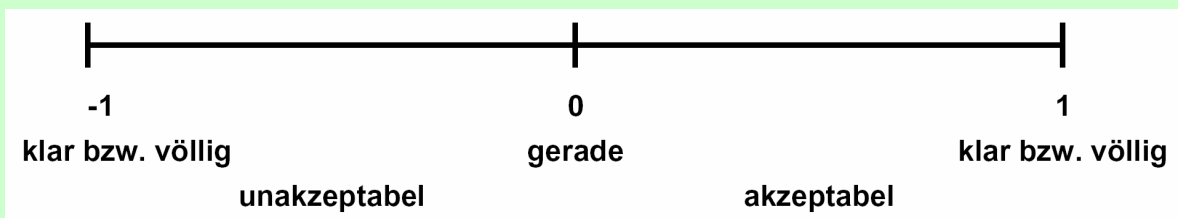
Am Ende der Prüfung werden die genauen Werte mit einem externen Maßstab ermittelt. Die Gesamtbewertung für die Hedonik errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelergebnisse der Prüfer, wobei diese Zahl auf eine Nachkommastelle zu runden ist.

Zusätzlich kann, vor allem bei umfangreicheren Untersuchungen, die Erstellung von Polaritätenprofilen nach VDI 3940 Blatt 4 hilfreich sein. Hierbei werden Ähnlichkeiten auftretender Gerüche mit den Profilen der Konzepte „Duft“ bzw. „Gestank“ überprüft.

9.5.4. Prüfung der Akzeptanz

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

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



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

9.5.5. Beschreibung der Geruchsqualität

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

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

10. GESAMTBEURTEILUNG EINES GERUCHSEREIGNISSES

10.1. ALLGEMEINE VORGEHENSWEISE

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

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

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

10.2. EINFLUSSFAKTOREN

10.2.1. Zeitraum seit der Erstellung des Raumes

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

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

10.2.2. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

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

10.2.3. Windgeschwindigkeit und Luftwechsel

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

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

10.2.4. Nutzung des Raumes

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

10.2.5. Bewusste oder erwartete Freisetzung von Gerüchen

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

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

10.3. BEURTEILUNG DER ZUMUTBARKEIT

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

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

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

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

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

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

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

10.4. BEWERTUNG DES SANIERUNGSERFOLGES

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

10.5. BEWERTUNG IM RAHMEN EINER GEBÄUDEZERTIFIZIERUNG

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

10.6. ERGÄNZENDE BEWERTUNGSVERFAHREN

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

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

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

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

11. PRÜFBERICHT

Der Prüfbericht muss mindestens enthalten:

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

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

12. LITERATUR

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- DIN 10950 Teil 2 (2000):** Sensorische Prüfung – Teil 2: Allgemeine Grundlagen. Berlin: Beuth
- DIN 10961 (1996):** Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfung. Berlin: Beuth
- DIN EN 13725 (2003):** Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003. Berlin: Beuth
- DIN EN 13725 Berichtigung 1 (2006):** Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003, Berichtigungen zu DIN EN 13725:2003-07; Deutsche Fassung EN 13725:2003/AC:2006. Berlin: Beuth
- DIN EN 13779 (2007):** Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme. Berlin: Beuth
- DIN EN 15251 (2007):** Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Berlin: Beuth
- DIN EN ISO 16000-1 (2006):** Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie. Berlin: Beuth
- ECA-IAQ (1999):** Sensory Evaluation of Indoor Air Quality. Report No 20. EUR 18676 EN. European Collaborative Action – Indoor Air Quality & its impact on man (ECA-IAQ). European Commission Joint Research Centre, Environment Institute. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Internet vom 17.07.2010: http://www.inive.org/medias/ECA/ECA_Report20.pdf
- Fang L (1997):** Impact of Temperature and Humidity on Perceived Indoor Air Quality, PhD thesis. Technical University of Denmark, Copenhagen
- Fanger PO (1988):** Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors an outdoors. Energy and Buildings 12(1), 1-6
- Fischer J, Engler N, Seifert B (1998):** Luftverunreinigungen und geruchliche Wahrnehmungen unter besonderer Berücksichtigung von Innenräumen, WaBoLu-Hefte 1/98, Hrsg.: Umweltbundesamt - Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, 1ff
- Gestis-Stoffdatenbank (2010):** Stoffdatenblatt 1-Butanol, Kapitel: Physikalisch-chemische Eigenschaften. In: Gestis-Stoffdatenbank. Internet vom 17.07.2010: <http://www.dguv.de/bgia/de/gestis/stoffdb/index.jsp>
- GIRL (2008):** Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW). Fassung vom 29. Februar 2008 und Ergänz. vom 10. Sept. 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen (Erlass) vom 29. Februar 2008. Internet vom 17.07.2010: <http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/6/dokus/61101.pdf>
- Gunnarsen, L, Bluysen Ph (1994):** Sensory Measurements Using Trained and Untrained Panels, Healthy Building 94, Budapest
- HRI (2004):** Handbuch zur Messung der empfundenen Luftqualität. Hermann-Rietschel-Institut. Internet vom 17.07.2010: http://www.tu-berlin.de/fileadmin/fg111/forschung/Luftqualitaet/LQ_Handbuch_v08.pdf

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tappler P, Damberger B, Twrdik F, Mitterer K (2006): Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen für die Erarbeitung von Vorgaben der Publikation „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Internet vom 17.07.2010:

<http://www.innenraumanalytik.at/Newsletter/luftwechselstudie2006.pdf>

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

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

- Theuer W, Sprinzl A, Tappler P (1995):** Luftverunreinigungen in Innenräumen. Wien: Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen
- Thumulla J (2010) :** Erste Praxiserfahrungen zur Anwendung des AGÖF-Leitfadens zur Sensorischen Bestimmung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen im Neubau eines Bürogebäudes mit multifaktoriellen Geruchsproblemen, in: Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche, Sanierung Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe 2010.
- VDI 3882 Blatt 1 (1992):** Olfaktometrie; Bestimmung der Geruchsintensität. Berlin: Beuth
- VDI 3882 Blatt 2 (1994):** Olfaktometrie - Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung. Berlin: Beuth
- VDI 3883 Blatt 1 (1997):** Wirkung und Bewertung von Gerüchen - Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung - Fragebogentechnik. Berlin: Beuth
- VDI 3940 Blatt 4 Entwurf (2008):** Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile. Berlin: Beuth
- WHO (2000):** Air Quality Guidelines for Europe. 2. ed. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. (WHO Regional Publications. European Series 91). Internet vom 17.07.2010: <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>
- Wichmann HE, Schlipkötter HW & Fülgraff G (Hg.) (1992 ff.):** Handbuch der Umweltmedizin: Toxikologie, Epidemiologie, Hygiene, Belastungen, Wirkungen, Diagnostik, Prophylaxe. 40. Ergänzungslieferung 12/2008. Landsberg/Lech: ecomed
- Yaglou CP, Riley EC & Coggins DI (1936):** Ventilation requirements (Part 1). ASHVE Transactions 42,133-162

13. ANHÄNGE

13.1. ANHANG 1: BESCHREIBUNG VON GERUCHSQUALITÄTEN

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

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

13.2. ANHANG 2: VORSCHLAG FÜR EIN GERUCHSBEWERTUNGSFORMULAR

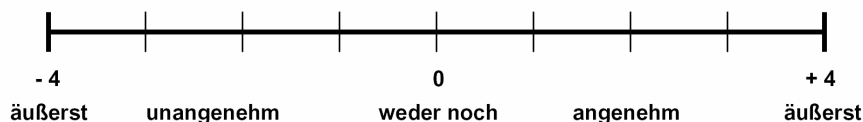
Projekt-Nr.:		Auftraggeber	
Datum:		Beginn der Prüfung:	
Anlass der Prüfung		Ende der Prüfung:	
Prüfer:		Letzter Abgleich mit n-Butanol	
Ort der Prüfung		Temperatur (°C)/	
Raumbezeichnung		Rel. Luftfeuchtigkeit (%)	

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

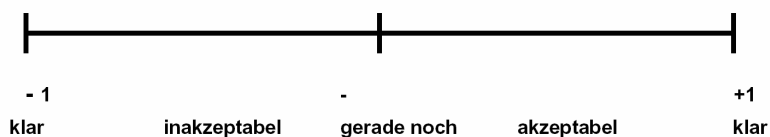
Note	Beschreibung der Intensität	Intensität:
0,00	Geruchlos	
1,00	Sehr schwacher Geruch	Anmerkungen:
2,00	Schwacher Geruch	
3,00	Deutlicher bzw. mittlerer Geruch	
4,00	Starker Geruch	
5,00	Sehr starker Geruch	

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

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



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



13.3. ANHANG 3: BERECHNUNGSBEISPIELE STATISTIK

13.3.1. Ermittlung der Standardunsicherheit eines Panels

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

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

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

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

$$S_{\text{pool}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{k}}$$

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

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

13.3.2. Unterscheidbarkeit von Geruchssituationen

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

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

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

und die Alternativhypothese:

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

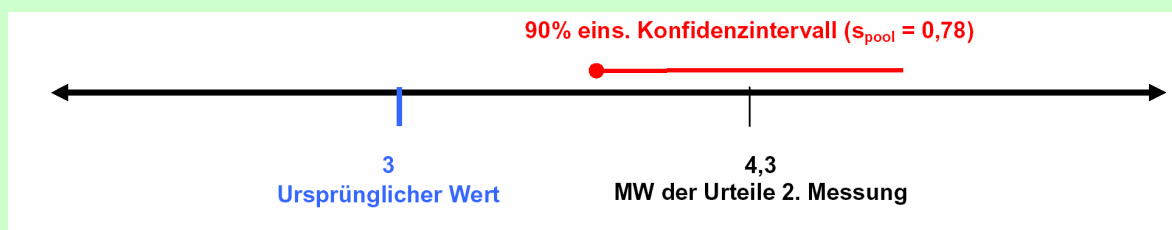
Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

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

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

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

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



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

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

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

und die Alternativhypothese:

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

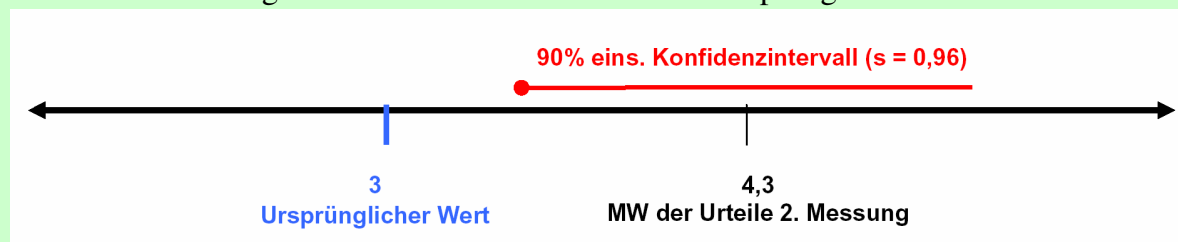
Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

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

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

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

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



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

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

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

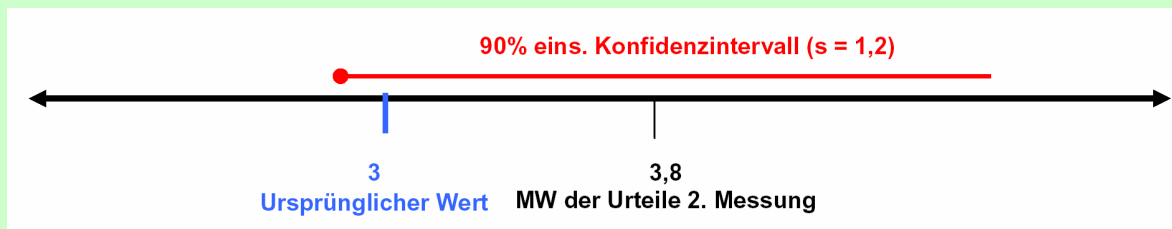
und die Alternativhypothese:

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

Als Irrtumswahrscheinlichkeit legen wir 10% zugrunde.

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

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



13.3.3. Nichtunterlegenheitsprüfung – Einhaltung eines bestimmten Kriteriums (Grenzwert)

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

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

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

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

und die Alternativhypothese:

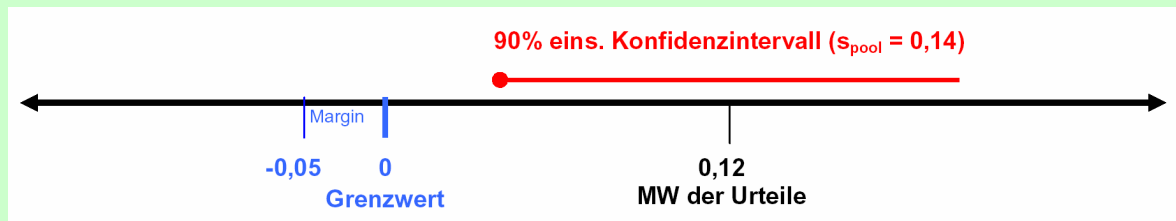
$$H_1: \mu - 0 \geq -0,05$$

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

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

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

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



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

Die Nullhypothese lautet auch in diesem Fall:

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

und die Alternativhypothese:

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

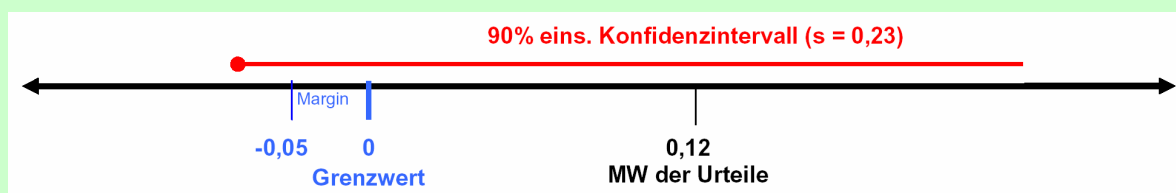
Die Prüfung ergab auch hier einen Mittelwert der Akzeptanzurteile von 0,12.

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 $100 - \text{Alpha} = 90$ Perzentil der Student t-Verteilung (einseitig) beträgt 1,64.

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

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

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



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

Die Nullhypothese lautet auch in diesem Fall:

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

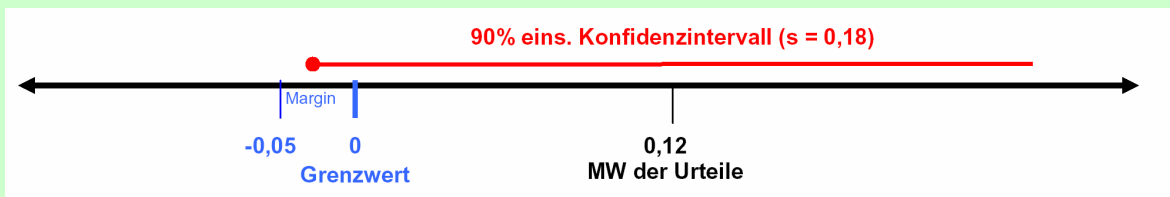
und die Alternativhypothese:

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

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

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

Das Konfidenzintervall zur Irrtumswahrscheinlichkeit Alpha errechnet sich aus Gleichung (8). Einsetzen in diese Gleichung ergibt den folgenden Bereich: $0,12 - 0 - 1,64 * 0,18 / 2 = -0,028$ 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 δ wird mit $0,1$ angenommen.

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

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

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

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

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

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

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



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

Die Nullhypothese lautet in diesem Fall:

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

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

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

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

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

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

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

