

Abschlussbericht
zum Forschungsvorhaben

Evaluierung einer Methode zur sensorischen Bewertung von Bauprodukten für Innenraumanwendungen unter Praxisbedingungen



Fraunhofer WKI
Fachbereich für Materialanalytik und Innenluftchemie
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig

Projektleitung:	Prof. Dr. Tunga Salthammer
Projektbearbeitung:	Dipl.-Ing. (FH) Nicole Schulz Ramona Stolte Dr. Erik Uhde Jennifer Bartsch, MSc

Inhalt

1	Problemstellung	1
2	Forschungsziel.....	4
3	Lösungsweg.....	4
4	Der menschliche Geruchssinn.....	9
4.1	Geruch.....	9
4.2	Geruchsstoffe.....	9
4.3	Geruchswahrnehmung.....	10
4.3.1	Physiologische Wahrnehmung	10
4.3.2	Psychologische Wahrnehmung.....	12
4.3.3	Geruchsmischungen.....	13
5	Grundlagen der Geruchsbewertung	14
5.1	Allgemeines	14
5.2	Überblick über Geruchsbewertungsverfahren.....	14
5.2.1	Geruchsprüfung mittels Olfaktometer	14
5.2.2	Akzeptanz.....	15
5.2.3	Hedonische Wirkung.....	15
5.2.4	Geruchsart	15
5.2.5	Intensität.....	16
5.2.5.1	Intensitätsbestimmung mittels Kategorienskala	16
5.2.5.2	Empfundene Intensität	16
5.3	Geruchsbewertung	17
5.3.1	Allgemeine Anforderungen eines Vergleichsmaßstabs.....	17
5.3.1.1	Gerätebeschreibung Vergleichsmaßstab	19
5.3.2	Probenahme bzw. -darbietung.....	21
5.3.2.1	Probenahme	21
5.3.2.2	Probendarbietung	22
5.3.2.2.1	Direkte Bewertung	22

5.3.2.2.2	Indirekte Bewertung	23
5.3.3	Prüfraumanforderungen.....	23
5.3.4	Testleiter	23
5.3.5	Probanden	23
5.3.6	Durchführung einer Geruchsprüfung	24
5.3.6.1	Empfundene Intensität	24
5.3.6.2	Hedonik und Geruchsart	27
5.3.7	Auswertesoftware.....	28
5.3.8	Acetonbestimmung.....	28
5.3.8.1	Allgemein	29
5.3.8.2	Acetonbestimmung mittels Flammenionisationsdetektor (FID)	29
5.3.9	Volumenstrombestimmung an einem Bewertungstrichter	31
5.4	Emissionskammerprüfung	31
5.4.1	Auswahl der Bauprodukte.....	33
5.4.2	Prüfparameter	33
5.4.3	Geruchsemissionsbewertung von Bauprodukten	35
5.4.4	Analytik der Luftprobenahme.....	35
5.4.5	VOC-/SVOC-Analytik mittels TENAX-Probenahme und TD/GC/MS.....	35
5.4.6	Carbonyl-Analytik mittels DNPH-Probenahme und HPLC	36
5.5	Prüfung der Rahmenparameter der Methode der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28.....	37
5.5.1	Bestimmung der Hintergrundintensität des Geruchsbewertungsequipments	37
5.5.2	Vergleich von Beutel- und Kammerluftproben.....	37
5.5.2.1	Bauprodukte	38
5.5.2.2	Einfluss des Beutelmaterials auf die Probenluft	38
5.5.3	Geruchsbewertung mit verschiedenen Darbietungsmethoden.....	39
5.5.3.1	Indirekte Intensitätsbewertung mit Probenbeuteln aus Nalophan und Tedlar.....	39
5.5.3.2	Bestimmung der empfundenen Intensität mit unterschiedlichen Bewertungstrichtern .	40
5.5.4	Strömungsverhältnisse in verschiedenen Bewertungstrichtern	41

5.5.5	Bewertung von Acetonproben	41
5.5.6	Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Nalophan und Tedlar.....	42
5.5.7	Bestimmung der rel. Luftfeuchte in Nalophan- und Tedlar-Beuteln.....	43
6	Auswertung/Ergebnisse.....	44
6.1	Emissionskammerprüfungen gemäß AgBB-Schema	44
6.1.1	Chemisch-sensorische Ergebnisse eines Bauprodukts	44
6.1.2	Zusammenfassung der Emissionsprüfungsergebnisse aller untersuchten Bauprodukte	53
6.2	Ergebnisse der Vergleichsprüfungen Kammer- und Beutelluftproben	57
6.2.1	Direkte und indirekte Geruchsbewertung von Bauprodukten	57
6.2.1.1	VOC-Konzentrationen von Beutelluftproben über die Zeit.....	60
6.2.1.2	VOC-Konzentrationen und empfundene Intensitäten von Kammer- und Beutelluftproben vor und nach einer Geruchsbewertung	62
6.2.2	Einfluss des Beutelmaterials auf ein definiertes VOC-Gemisch	65
6.3	Blindwerte.....	69
6.4	Ergebnisse der indirekten Intensitätsbewertung mit Probenbeuteln aus Nalophan und Tedlar	70
6.5	Ergebnisse der Intensitätsbestimmung mit unterschiedlichen Bewertungstrichtern	71
6.6	Strömungssimulation von Bewertungstrichtern für die Geruchsprüfung	72
6.7	Empfundene Intensität von Acetonproben	75
6.8	Bestimmung der rel. Luftfeuchte im Probenbeutel für die Geruchsbewertung	78
6.9	Wasserdampfdurchlässigkeit von Nalophan und Tedlar	79
6.10	Bestimmung von Aceton	79
6.10.1	Bestimmung von Aceton mit verschiedenen Messverfahren	80
6.10.2	Bestimmung von Aceton mittels FID.....	81
6.10.3	Ergebnisse der Aceton-Vergleichsmessungen mittels PID und FID	82
6.11	Statistische Untersuchung der Effektivität der Aceton-Leistungsprüfung.....	84
6.12	Die menschliche Geruchswahrnehmung von Acetongemischen	86
6.13	Probandenaufwand.....	87
6.14	Nutzen-Analyse.....	90
6.15	Kostenanalyse	91

7	Gegenüberstellung und Bewertung der Ergebnisse und Anforderungen gemäß DIN ISO 16000-28.	95
8	Zusammenfassung	99
9	Ausblick	101
10	Danksagung.....	103
11	Literaturverzeichnis	105
ANHANG I		109
ANHANG II.....		110

1 Problemstellung

Die olfaktorische Wahrnehmung (oder Riechwahrnehmung) gehört zu den elementaren Sinnen des Menschen und ist untrennbar mit seiner kulturellen Entwicklung verbunden. Duftstoffe werden vom Riechepithel in sehr unterschiedlichen Konzentrationen registriert, der Geruchseindruck ist in der Regel stark mit Emotionen verknüpft (Ohloff 2004). Die ersten Arbeiten zum Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und dargebotener Konzentration gehen auf das frühe 19. Jahrhundert zurück (Handwerker 2005). In der Aromaforschung werden quantitative Skalen zur Geruchsintensität und Hedonik bereits seit langer Zeit genutzt. Die Akzeptanz der wahrgenommenen Luftqualität als quantitative Messgröße für den Innenraum wurde von Fanger (1988) eingeführt. Ab 1992 waren Geruchsintensität und Akzeptanz Kriterien des »Danish Indoor Climate Labelling Systems« für Bauprodukte. In Deutschland wurde zur standardisierten Erfassung der Emissionen von Produkten für Innenraumanwendungen bereits im Jahr 1994 ein Konzept von Fischer und Böhm vorgelegt, das die Basis des Schemas zur Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten nach AgBB (2012) darstellt. Im Jahr 1997 wurde der Ansatz von Fischer und Böhm im CEC-Report Nr. 18 »Evaluation of VOC Emissions from Building Products« um die Möglichkeit einer sensorischen Prüfung erweitert.

Über die Wirkung von Geruchstoffen bei Exposition wurde z. B. von Duffee und O'Brian (2001) sowie Nielsen et al. (2007) berichtet. Cometto-Muniz (2001) hat speziell das Geruchspotenzial von innenraumrelevanten VOCs untersucht. Auf europäischer Ebene wurde die Notwendigkeit einer sensorischen Bewertung der Raumluftqualität durch einen Bericht der Commission of the European Communities (1999) dokumentiert. Eine Vielzahl von Produkten wurde daraufhin hinsichtlich ihrer Geruchsemissionen (Salthammer et al. 2004; Mayer et al. 2009; Knudsen et al. 2007; Müller et al. 2009) in Abhängigkeit von klimatischen Parametern (Fang et al. 1999; Knudsen et al. 1999) und chemischen Reaktionen (Wolkoff et al. 2006) charakterisiert, so dass viele der innenraumrelevanten Stoffe und ihre potentiellen Quellen identifiziert werden konnten.

Mittlerweile kommt aufgrund der geringer werdenden Akzeptanz von Endverbrauchern und Kunden gegenüber ungewöhnlichen oder unbekannten Materialgerüchen bzw. Geruchsquellen in Innenräumen der Bewertung von Gerüchen eine immer größere Bedeutung zu (Dürkop et al. 2005; 2007). Insbesondere die Emissionen von organischen Primär- und Sekundärprodukten mit niedrigen Geruchsschwellen (Devos et al. 1992), die von Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen freigesetzt werden, können für die geringe Akzeptanz der Luftqualität in Innenräumen relevant sein.

Die Bedeutung der sensorisch wahrgenommenen Luftqualität hat sich in den letzten Jahren weiter verstärkt, weil die durchschnittlichen Luftwechselraten im Zuge von Maßnahmen zur Energieeinsparung stetig geringer und Gerüche in Innenräumen damit intensiver werden und über längere Zeiträume präsent sind. Geruchsarme Bauprodukte gehören bereits heute zu den Kriterien moderner Gebäudezertifizierungssysteme, wie etwa das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB).

Nach wie vor fehlen in der Innenraumluft-hygiene einheitliche Verfahren und Kriterien für die Geruchsbewertung. Grund dieses Fehlens ist auch, dass manche geruchsrelevanten Substanzen mit den üblichen analytischen Nachweismethoden nicht erfasst werden können, da sie in ausgesprochen geringen Konzentrationen auftreten (und wahrgenommen werden) und somit die Grenzen der Geräteempfindlichkeit erreicht werden. Zudem lassen sich Geruchswirkungen nicht einfach addieren oder für unterschiedliche Luftwechselzahlen ineinander umrechnen, sondern beeinflussen sich untereinander sehr unterschiedlich (Legrum 2011; Mücke, Lemmen 2004). Vielfach dominieren bestimmte Geruchsstoffe, obwohl diese nur in geringen Mengen in der Raumluft vorhanden sind. Somit lässt sich über den gesamten Geruchseindruck einer Luftprobe keine Aussage treffen, wenn lediglich Kenntnisse über bestimmte Einzelkomponenten gegeben sind.

Zur sensorischen Analyse existiert eine Vielzahl von Methoden zur Geruchsbewertung von Innenräumen bzw. Innenraummaterialien, die hauptsächlich im Bereich von nationalen Labelling-Systemen eingesetzt werden (z. B. M1-Label, VDA 270, RAL GZ 430 etc.). Aufgrund der Unterschiede in den Bewertungsverfahren ist jedoch keine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben. Um ein einheitliches Vorgehen bei Geruchsbewertungen von Innenräumen bzw. Innenraummaterialien zu gewährleisten, wurde in den letzten Jahren ein ISO-Standard zur Geruchsbewertung von Bauprodukten (DIN ISO 16000-28 - Bewertung von Geruchsemissionen aus Bauprodukten mittels Prüfkammern) erarbeitet und im März 2012 verabschiedet (DIN ISO 16000-28, 2012). In der DIN ISO 16000-28 (2012) wird die Durchführung folgender Geruchsbewertungsmethoden von Bauprodukten beschrieben:

- Akzeptanz
- empfundene Intensität
- hedonische Wirkung

Zeitgleich wurden zwei VDI-Richtlinien zur Geruchsprüfung von Innenraumluft erarbeitet (VDI 4302 – Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien Blatt 1 Grundlagen) (VDI 2015) und Blatt 2 (Prüfstrategie für Geruchsprüfungen von Innenraumluft) (VDI 2012)), die ebenfalls die

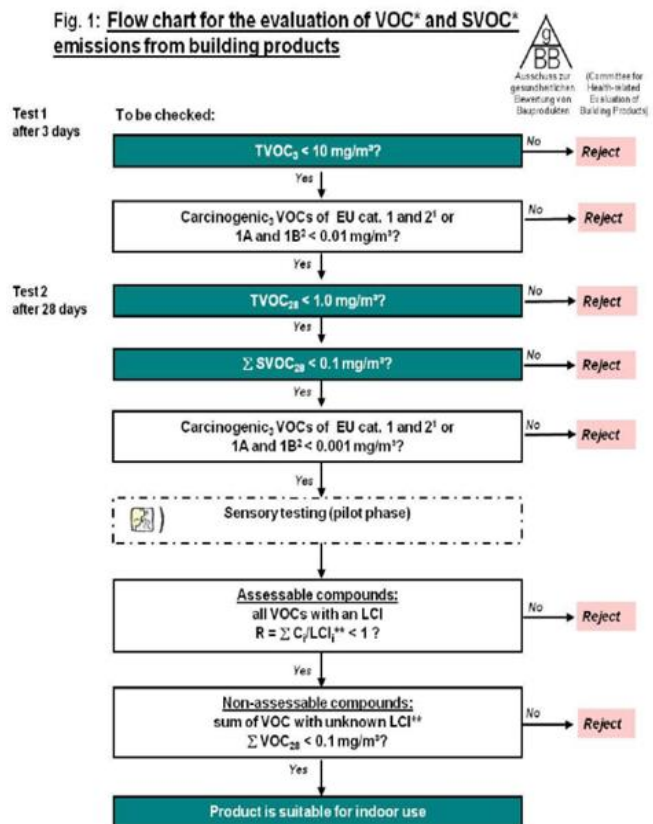


Abbildung 1: AgBB-Schema (AgBB 2012).

Geruchsbewertungsmethoden Akzeptanz, Intensität, hedonische Wirkung und Geruchsqualität erläutern.

Das in diesem Forschungsvorhaben relevante Geruchsbewertungsverfahren ist die empfundene Intensität. Bei dieser Methode zur Geruchsbewertung von Innenraumprodukten müssen mindestens acht trainierte Probanden die Intensität einer Probe unter Verwendung eines Aceton-Vergleichsmaßstabs bestimmen. Durch eine Referenzquelle als Vergleichsmaßstab soll die interindividuelle Streuung der Probandenantworten so weit reduziert werden, dass eine Geruchsbewertung mit weniger als 20 Probanden möglich ist.

Da eine sensorische Bewertung als zusätzliches Kriterium im »Blauen Engel« bzw. im AgBB-Schema (AgBB 2012; Müller et al. 2011; Däumling et al. 2005) vorgesehen ist (siehe Abbildung 1), kommt der sorgfältigen Absicherung des Prüfverfahrens eine besondere Bedeutung zu. Bisher wurde die Methodik im Rahmen von zwei Ringversuchen mit ausgewählten Materialien getestet (Brosig et al., 2013; 2015).

Dies gilt insbesondere, da es sich bei dem in der DIN ISO 16000-28 standardisierten Verfahren der empfundenen Intensität um eine neuere Entwicklung handelt, für die, anders als bei anderen Prüfverfahren, nur wenige Daten zu Verfahrenskenngrößen existieren. Diese Daten sind zudem mit wenigen Vergleichsmaßstäben, einem Beutelmateriale und einem Probenahmegerät gewonnen worden, wobei zum Teil Prüfkammern zum Einsatz kamen, die den Anforderungen der DIN EN ISO 16000-9 (2008) nicht genügen.

Dieses Vorhaben ist vornehmlich verfahrenorientiert. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen die konkretisierte Umsetzung der Methode der empfundenen Intensität des Standards DIN ISO 16000-28 und die Details der Anwendbarkeit für diverse Bauprodukte. Von besonderer Bedeutung ist die Untersuchung der produktabhängigen Robustheit des Verfahrens in Bezug auf marginale Parameterabweichungen sowie die erreichbare Genauigkeit. Die ermittelten Werte sind relevant zur Beurteilung der Einsetzbarkeit des Verfahrens für die Bewertung von Bauprodukten. Die Genauigkeit des Verfahrens muss in die Ableitung von Schwellenwerten bzw. Richtwerten einfließen.

2 Forschungsziel

Zurzeit werden Bauprodukte bzw. Produkte für den Innenraumbereich gemäß AgBB-Schema bzw. »Blauem Engel« hinsichtlich der emittierenden flüchtigen organischen Verbindungen in Emissionskammern untersucht und bewertet. Dennoch gibt es immer wieder Produkte, die aufgrund starker bzw. unangenehmer Geruchsentwicklungen auffällig werden, obwohl diese Materialien in ihrem Emissionsverhalten unauffällig sind. Daraus folgend stellen starke VOC-Quellen nicht immer starke Geruchsquellen dar und im Umkehrschluss sind schwache VOC-Quellen nicht automatisch schwache Geruchsquellen. Dieses Fehlen einer Korrelation der messbaren Emissionen mit üblichen Nachweismethoden (Nachweisgrenzen von $\sim 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) eines Bauprodukts und dem Geruch macht deutlich, dass Geruchsemissionen einer Probe häufig ohne olfaktorische Untersuchungen nicht oder nur unzureichend beurteilt werden können. In Kombination mit der Bewertung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen soll deshalb eine sensorische Prüfung als weiteres Bewertungskriterium im AgBB-Schema bzw. im »Blauen Engel« verankert werden. Als Bewertungsparameter wurden die empfundene Intensität und die Hedonik vorgeschlagen. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, die vorgeschlagenen Methoden der empfundenen Intensität und der Hedonik gemäß DIN ISO 16000-28 auf deren Eignung in der Praxis mit einem breiten Spektrum von Bauprodukten zu prüfen und Prüfparameter bzw. Rahmenparameter der Methode zu konkretisieren. Die Bewertung der Akzeptanz war nicht Gegenstand dieses Projekts.

3 Lösungsweg

Um zu ermitteln, ob das Verfahren in Zukunft erfolgreich für die Bewertung von Bauprodukten eingesetzt werden kann, war die Untersuchung einer nennenswerten Anzahl verschiedener Produkte erforderlich. Diese Untersuchungen wurden mit genau charakterisierten Probenmaterialien in genau definierter zeitlicher Abfolge vorgenommen, um Einflüsse durch Probeninhomogenitäten, Transport, Vorbereitung, Alter etc. zu minimieren. Dabei war eine enge Zusammenarbeit mit den Herstellern der zu untersuchenden Produkte wichtig.

Aufgrund der Tatsache, dass es für Emissionsprüfungen kein Referenzmaterial gibt, sind die Validierung von Laboratorien und die Validierung des Verfahrens (durch eine Robustheitsuntersuchung) nicht eindeutig zu trennen. Jede Abweichung kann sowohl durch einen Fehler im Labor wie auch durch eine mangelnde Robustheit des Verfahrens gegenüber dem Fehler erklärt werden. Solange nicht durch ein exakt definiertes Referenzmaterial der laborseitige Gesamtfehler bei verschiedenen Varianten des Verfahrens ermittelt werden kann, ist eine Robustheit des Verfahrens gegenüber verschiedenen Einflussgrößen nicht eindeutig ermittelbar.

Es ist allerdings möglich, die Ergebnisse von Messungen dahingehend auszuwerten, ob bestimmte Variationen des Verfahrens (zum Beispiel Direktbewertung ↔ Verwendung eines Beutels) auch Unterschiede in den

Ergebnissen erkennen lassen. Aufgrund von Datenmangel konnten solche Auswertungen bislang nicht durchgeführt werden. Deshalb war es erforderlich, verschiedene Bauprodukttypen mittels der empfundenen Intensität und der Hedonik zu untersuchen, um somit genügend Datenmaterial für eine Eignungsprüfung des Verfahrens zu sammeln.

Diese Daten wurden analysiert in Hinsicht auf:

1. Unterschiede in Bezug auf:
 - a. Beutel-/Direktbewertung
 - b. Beutelmaterialien
 - c. Vergleichsmaßstab
 - d. Trichtergeometrie.
2. Mindestanforderungen für die Probandenanzahl.
3. Effektivität der Aceton-Leistungsprüfung.
4. Nutzen-Analyse.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden die Untersuchungen soweit möglich in Emissionsprüfkammern gemäß DIN ISO 16000-9 (2008) mit VOC-Probenahme bzw. Probenvorbereitung gemäß DIN ISO 16000-6 (2012) bzw. DIN EN ISO 16000-11 (2006) durchgeführt. Zudem wird im AgBB/DIBt-Schema (2012) vorgegeben, dass Bauproduktprüfungen in Emissionsprüfkammern gemäß DIN EN ISO 16000-9 (2008) durchzuführen sind.

Die Beteiligung verschiedener Industriezweige stellte sicher, dass ein breites Spektrum an Bauprodukten berücksichtigt wurde. Darunter waren Produkte, die sowohl ein niedriges, moderates als auch starkes Emissionspotential aufwiesen. Weiterhin wurden auch Produkte untersucht, die geruchlich auffällig waren bzw. eigens für diese Art von Prüfung mit geruchsaktiven Substanzen dotiert wurden. Von besonderem Interesse sind zudem Materialien, die zwar niedrige VOC-Werte aufweisen bzw. das AgBB-Schema/den »Blauen Engel« bereits erfolgreich durchlaufen haben, trotzdem aber einen deutlich wahrnehmbaren Geruch aufweisen.

Arbeitspaket 1: Auswahl der Produkte, Beschreibung des Prüfverfahrens

In Zusammenarbeit mit den Herstellern wurden geeignete Produkte für die erste Runde von Prüfungen ermittelt. Diese Auswahl beinhaltete feste und flüssige Bauprodukte sowie geruchlich auffällige und unauffällige Materialien. Die anzuwendende Probenvorbereitung und alle Details der Geruchsbewertung wurden beschrieben, damit die vergleichenden Prüfungen unter möglichst äquivalenten Bedingungen stattfanden. Die grundsätzliche Eignung der Methode wurde mit diesen Proben überprüft.

Es wurden 12 Bauprodukte nach DIN ISO 16000-9 geprüft. Während der Versuchsdauer von 28 Tagen wurden Luftproben nach 3, 7, 14 und 28 Tagen mit den Methoden der empfundenen Intensität und der Hedonik bewertet. Eine parallele Bewertung der flüchtigen organischen Verbindungen der Bauprodukte zu jedem Messzeitpunkt erfolgte ebenfalls. Folgende feste und flüssige Bauprodukte wurden untersucht.

Feste Bauprodukte: Holz- und Holzwerkstoffe, Tapete, elastischer Bodenbelag.

Flüssige Bauprodukte: Alkydharzlack, Bodenbelagsklebstoff, Dichtstoffe.

Die Auswahl der Produkte wurde durch den projektbegleitenden Ausschuss zu Beginn des Projekts festgelegt.

Arbeitspaket 2: Bewertungsdetails

In diesem Teil des Projekts wurden vergleichende Untersuchungen durchgeführt, die mögliche Unterschiede einer direkten Bewertung (an einer großen Prüfkammer) im Vergleich zu einer indirekten Bewertung (Entnahme von Kammerluft in einen Probenbeutel, anschließend Bewertung der Beutelluft) zeigen werden. Ein wesentlicher Einflussfaktor bei der indirekten Bewertung einer Geruchsprobe könnten Temperaturunterschiede zwischen der Probenluft im Beutel zu dem Aceton-Luft-Gemisch am Vergleichsmaßstab bzw. zu den Prüfkammern sein. Die Bewertung der Geruchsproben aus Probenbeuteln wird üblicherweise bei Raumtemperatur durchgeführt, und demnach hat die Probenluft in den Beuteln bereits nach kurzer Verweilzeit Raumtemperatur angenommen. Diese Temperaturunterschiede könnten bereits Einfluss auf das Intensitätsempfinden der menschlichen Nase hervorrufen und daraus resultierend zu Abweichungen bei der Geruchsbewertung direkt an Emissionsprüfkammern zu der Geruchsbewertung am Beutel führen. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Geruchsbewertung ist die Trichtergeometrie. Insbesondere die Länge des Trichters und der Rohrdurchmesser am Trichtereingang. Bei der indirekten Geruchsbewertung über einen Probenahmebeutel der untersuchten Bauprodukte wurden zwei verschiedene Trichter eingesetzt. Die Trichter unterschieden sich in der Trichterlänge und dem Eingangsdurchmesser. Weiterhin wurden mit Hilfe eines Strömungsberechnungsprogramms Simulationen mit verschiedenen Eingangsdurchmessern bzw. Trichterformen und -längen durchgeführt. Zudem wurden hier Simulationen mit verschiedenen Volumenströmen (von 0,6 bis 1,0 l/s) durchgeführt. Die Trichtersimulationen wurden im Zuge der am WKI angefertigten Doktorarbeit von Jennifer Bartsch (2016) durchgeführt.

Arbeitspaket 3: Einflüsse des Beutelmaterials, Gesamtstreuung, Probandenzahl

Abhängig von den Ergebnissen von AP 2 (Arbeitspaket 2) wurde in diesem Teil untersucht, ob die Bewertung mittels Probenbeutel durch Wahl eines alternativen Beutelmaterials, hier Tedlar, positiv beeinflusst werden kann.

Zunächst wurden Probenahmebeutel aus Nalophan, Kammerluft sowie die Laborluft auf deren Blindwert hinsichtlich der empfundenen Intensität und der VOC-Konzentration bewertet.

Um die Affinität der flüchtigen organischen Verbindungen an das Beutelmateriale zu prüfen (Wandeffekte), wurden Probenbeutel mit Prüfkammerluft gefüllt und anschließend zu unterschiedlichen Zeiten auf ihre VOC-Konzentration und die empfundene Intensität untersucht. Zudem wurden Dotierversuche mit verschiedenen Substanzgemischen an Emissionsprüfkammern durchgeführt und die Kammerluft bzw. Beutelluft im Hinblick auf deren VOC-Konzentration und die empfundene Intensität bewertet. Gerade bei den verhältnismäßig geringen Substanzmengen, die im Innenraumbereich vorliegen, kann eine Änderung der Konzentration einer Probe zu abweichenden Ergebnissen bei der Geruchsbewertung führen.

Des Weiteren wurden vergleichende Untersuchungen mit zwei in ihrer Bauart unterschiedlichen Vergleichsmaßstäben durchgeführt. Die beiden Vergleichsmaßstäbe unterschieden sich sowohl bei der Temperierung bzw. Befeuchtung des Gasstroms, den Aceton-Quellen, der Volumenstrommenge am Trichter sowie in der Einstellung der verschiedenen Aceton-Konzentrationen. Hierbei diente ein Vergleichsmaßstab als Probe, die durch den Probanden bewertet wurde. Der zweite Maßstab wurde als Vergleichsquelle genutzt. Durch diese Untersuchungen konnten mögliche Einflüsse durch Temperatur- bzw. Feuchteunterschiede des Aceton-Gasstroms sowie unterschiedliche Volumenströme am Trichter bei der Geruchsbewertung bestimmt werden.

Ein weiterer Punkt, der hier betrachtet wurde, ist die Anzahl der Probanden, die an der Geruchsprüfung teilnehmen. Laut Norm müssen mindestens 8 Probanden an einer Geruchsprüfung teilnehmen. Geruchsprüfungen, die während des Forschungsvorhabens stattfanden, wurden überwiegend mit einer Probandenzahl zwischen 9 und 16 durchgeführt. Mit den im Projekt ermittelten Daten wurde geprüft, ob 8 Probanden ausreichend sind bzw. mehr oder sogar weniger Testpersonen zuverlässige Ergebnisse liefern.

Weiterhin wurde der Aspekt der Aceton-Leistungsprüfung der Probanden vor jeder Geruchsprüfung untersucht. Hier wurden zum einen nur die Probandenantworten ausgewertet, die die Leistungsprüfung bestanden haben, und zum anderen die Bewertungen aller am Bewertungstag teilnehmenden Testpersonen in die Ergebnisauswertung mit einbezogen (Leistungsprüfung bestanden und nicht bestanden). Somit wurden an jedem Bewertungstag zwei Datensätze (Rohdaten/bereinigte Daten) ermittelt und dahingehend ausgewertet, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Rohdaten und den bereinigten Daten gibt.

Arbeitspaket 4: Verfahrensaufwand

Da eine Bewertung von Bauprodukten mittels der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28 einen erheblichen personellen Aufwand (8 - 12 Testpersonen für die Bewertung, ein deutlich größeres Panel muss trainiert und verfügbar sein) für die Prüfinstitute verursacht, war ein weiterer Bestandteil dieses Forschungsvorhabens eine Nutzen-Analyse. Soweit möglich wurde durch Auswertung aller verfügbaren Daten auch ermittelt, inwieweit die Geruchsbewertung die Gesamtbewertung verändert – wurden also durch die zusätzliche Geruchsbewertung Produkte entdeckt, die ansonsten unauffällige VOC-Emissionen aufweisen. Die chemischen Untersuchungen wurden gemäß AgBB-Kriterien bewertet (AgBB 2012). Für die Bewertung der sensorischen Untersuchungen wurden die vorgeschlagenen Anforderungen aus dem UBA Forschungsbericht

Texte 35/2011 (Müller et al. 2011) für die empfundene Intensität von $9\pi + 2\pi$ und für die hedonische Wirkung von $-1,2 - 0,8$ herangezogen.

Arbeitspaket 5: Auswertung und Interpretation

Sämtliche Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Laborprüfungen wurden ausgewertet und interpretiert. Ein besonderer Schwerpunkt ist hier die Ermittlung von Verfahrenskennwerten, die Rückschlüsse auf eine Anwendbarkeit zur sicheren Bewertung von Bauprodukten zulassen. Die Möglichkeiten und Grenzen der Methode wurden deutlich gemacht, insbesondere ihre Eignung, verlässliche und reproduzierbare Produktbewertungen zu erlauben.

4 Der menschliche Geruchssinn

4.1 Geruch

Im Leben des Menschen spielt der Geruchssinn eine wesentliche Rolle, da Geruch wie kein anderer Sinn direkt die Gefühlswelt des Menschen bestimmt oder verändert. Geruchsreize, die an Rezeptoren in der Nasenschleimhaut ausgelöst werden, erreichen ohne Schaltstelle den Riechkolben im Vorderhirn, um dann über wenige Synapsen das limbische System zu erreichen. In diesem Teil des Zentralnervensystems werden Trieb- und Instinktverhalten ausgelöst, Gefühle und Emotionen erzeugt sowie Lust und Unlust in Gang gesetzt (Ohloff 2004). Deshalb können angenehme Gerüche stimulierend wirken und das Lebensgefühl verbessern, wohingegen unangenehme Gerüche zu schlechter Stimmung, Aggressivität und Nervosität führen können. Es kann bei kontinuierlichem Kontakt mit einem unangenehmen Geruch sogar zu körperlichen und seelischen Schäden kommen.

Da sich der Mensch zu einem großen Teil seines Lebens im Innenraum aufhält, können unangenehme Gerüche im Innenraum besonders störend auf den Raumnutzer wirken. Demnach ist es von besonderer Wichtigkeit, Produkte im Innenraum einzusetzen, die nahezu einen geruchlosen bzw. geruchsarmen Charakter besitzen.

4.2 Geruchsstoffe

Geruch ist die Eigenschaft einer Gruppe von Chemikalien, den sogenannten Geruchsstoffen, konzentrationsabhängig den Geruchssinn zu aktivieren und somit eine Geruchsempfindung auszulösen. Sie gehören zu meist zur Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Um Gerüche überhaupt wahrnehmen zu können, müssen Verbindungen ausreichend flüchtig, lipid- und etwas wasserlöslich sein. Wichtige Einflussparameter bei der Geruchswahrnehmung sind Feuchtigkeit und Temperatur, aber auch die Konzentration der Substanzen (Mücke und Lemmen 2009; Rietschel und Fitzner 2008).

Diese Merkmale stehen in enger Wechselbeziehung und können wie folgt beschrieben werden:

Flüchtigkeit und Löslichkeit:

Die Geruchssubstanzen müssen entsprechend flüchtig sein, um über den Gasraum zum Riechepithel gelangen zu können. Eine sehr flüchtige Verbindung muss dabei aber nicht unbedingt einen intensiven Geruch hervorrufen. Die Flüchtigkeit der Verbindungen sind dampfdruck-, struktur- und größenabhängig, die Molmasse bei Raumtemperatur sollte unter 300-400 amu liegen, was in etwa 20 Kohlenstoffatomen entspricht. Viele der Verbindungen sind Flüssigkeiten, aber auch Feststoffe wie beispielsweise Vanillin, können geruchsaktiv sein. Geruchsstoffe sollten eine gewisse Fett- und Wasserlöslichkeit haben. Die Fettlöslichkeit ist nötig, damit sich die Substanzen an die Zilien binden können, die vor allem aus einer Fettschicht bestehen. Durch die Wasserlöslichkeit können die Substanzen die Nasenschleimhaut durchdringen. Sie darf aber nicht zu hoch

sein, damit die Flüchtigkeit der Substanzen noch ausreichend ist (Mücke und Lemmen 2009; Legrum 2011; Sell 2014; Brattoli et al. 2013).

Struktur und chemische Eigenschaften:

Prinzipiell gibt es keine einheitlichen Strukturmerkmale, bei denen eine Aussage getroffen werden kann, wie genau die Substanz riecht. Dennoch haben die funktionellen Gruppen und deren Struktur sowie die Geometrie der Substanz (eine gewisse 3-dimensionale Geometrie ist notwendig) selbst einen Einfluss darauf, ob sie am Rezeptor andocken können und welchen Geruchsreiz sie auslösen (Brattoli et al. 2013; Mücke und Lemmen 2009; Czerny et al. 2011). Geruchstragende funktionelle Gruppen heißen osmophor. Das können neben polaren Gruppen (z. B. Carbonyl-, Ester-, Hydroxygruppe) auch konjugierte Doppelbindungen, Dreifachbindungen und aromatische Systeme sein (Ohloff 2004).

4.3 Geruchswahrnehmung

4.3.1 Physiologische Wahrnehmung

Normalerweise atmet der Mensch nur durch ein Nasenloch, welches alle paar Stunden wechselt (Mücke und Lemmen 2009). Es gibt aber auch Menschen, die ein Nasenloch unbewusst bevorzugen (Hatt 2012).

Forciertes kurzes Atmen mit beiden Nasenlöchern wird als Schnüffeln bezeichnet (Sell 2014; Frasnelli et al. 2009). Dabei kommt es zu einer größeren Turbulenz und Verteilung im Nasenraum. Gerüche können intensiver empfunden werden, aber auch besser lokalisiert werden, da sie das trigeminale System erreichen können, welches normalerweise für die Lokalisation von Geruchsquellen zuständig ist (Sell 2014; Frasnelli et al. 2009). Dies ist zum Beispiel bei sensorischen Messungen von Bedeutung. Etwa 70 % der Geruchsstoffe werden nicht nur über das Riechepithel als Geruch wahrgenommen, sondern lösen auch einen trigeminalen Reiz aus. Dies sind zusätzliche Empfindungen wie zum Beispiel kühlend, brennend oder feucht. Eukalyptus und Menthol sind typischerweise trigeminal, während Vanillin oder Zimt zu den echten rein olfaktorischen Geruchsstoffen gehören (Sell 2014; Legrum 2011).

Beim Riechen selbst werden zunächst die volatilen Substanzen mit der Atemluft eingesaugt. Fremdstoffe und Partikel werden im äußeren Teil der Nase abgefangen und durch Niesen direkt wieder nach draußen befördert. Der Geruchseindruck hängt davon ab, welche und wie viele Moleküle zur Riechschleimhaut mit den über 20 Millionen Sinneszellen, die sich alle vier bis sechs Wochen neu bilden, gelangen (Mücke und Lemmen 2009). Die Riechschleimhaut bzw. das Riechepithel bedeckt etwa 5 cm² pro Nasenseite und aus der Nasendecke ragen feinste Sinneshärchen (Zilien) heraus, die ca. 350 exprimierten Rezeptortypen tragen (Mücke und Lemmen 2009; Legrum 2011). Wenn sich ein passendes Geruchsmolekül an die Riechrezeptoren bindet, wird diese Zelle erregt und sendet elektrische Signale weiter. Die Rezeptorwechselwirkungen beruhen dabei auf Van-der-Waals-Kräften oder Wasserstoffbrückenbindungen (Ohloff 2004). Die Rezeptorzelle der Riechschleimhaut besitzt nur einen Rezeptortyp, aber mehrere Rezeptoren dieses Typs sind möglich. Die einzelnen Riechrezeptoren selbst sind nur bedingt spezifisch und können durch Kombination mehrere tausend Gerüche unterschieden werden (Mücke und Lemmen 2009). Eine neue Studie geht sogar von über einer Billion aus

(Bushdid et al. 2014). Damit können die Rezeptoren als die 350 Buchstaben des Geruchsalphabetes bezeichnet werden, wobei im Übrigen die Riechzellen überall im Körper, unter anderem in der Haut des Menschen, vorkommen (Hatt 2012).

In der Nase laufen die Signale von gleichartigen Rezeptorzellen an spezifischen Glomeruli im Riechkolben (Olfactory bulb) zusammen, wo sie mit den glomerulären Ausläufern der Mitralzellen synaptischen Kontakt haben (siehe dazu Abbildung 2). Bei gleichzeitiger Erregung und genug Molekülen wird das Signal bzw. der Impuls dann von den Mitralzellen in die höheren Hirnregionen weitergegeben und dort als Geruch erkannt und interpretiert. Als einziges Sinnesorgan leitet die Nase die Impulse direkt ins Gehirn weiter, wobei das Riechhirn im limbischen System liegt. Somit ist der Geruchssinn auch der schnellste Sinn. Dies erklärt die enge und direkte Verbindung von Emotionen und Erinnerungen mit Gerüchen (Sell 2014; Legrum 2011).

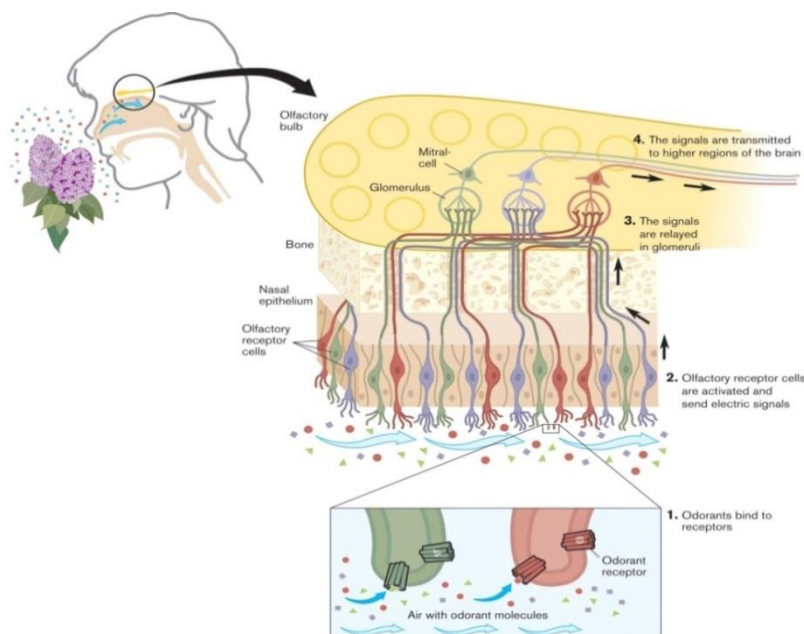


Abbildung 2: Darstellung der Duftwahrnehmung (Buck, 2005).

Der Ablauf des Riechvorgangs ist im Folgenden anhand eines Duftstoffes dargestellt:

Wie stark wir einen Geruch wahrnehmen, kommt auf die Konzentration der Stoffe an. Allerdings hat eine erhöhte Konzentration nicht unbedingt eine entsprechende Erhöhung der Intensität zur Folge. Die Reizschwelle kann zunächst durch Konzentrationssteigerung erhöht werden. Diese ist anfangs sprunghaft, erreicht aber irgendwann ein Plateau. Wenn die Exposition von Gerüchen länger andauert (Dauerreizung), wird der Geruch irgendwann nicht mehr oder deutlich schwächer wahrgenommen (Adaptation), wobei andere Gerüche wiederum unverändert wahrgenommen werden. Adaptation und Müdigkeit sind Kurzzeiteffekte. Tritt ein Geruch immer wieder auf, gewöhnen wir uns an diesen und reagieren nicht mehr so stark darauf (Habituation). Dieser Effekt ist ein Lernprozess und es dauert einige Minuten, bis sich die Nase wieder regeneriert hat. Habituation und Adaptation desensibilisieren also den Menschen für gewisse Gerüche. Es gibt aber auch den gegenteiligen Effekt, die Sensibilisierung für Substanzen, der oftmals bei Reizungen in der Nähe der Geruchsschwelle auftritt und bei Duftstoffen im Extremfall zu einer Multiple Chemical Sensitivity (MSC) führen kann. Ein weiterer wichtiger Effekt ist die Kreuzadaptation, bei der es sein kann, dass eine Person nach Wahrnehmung einer Substanz eine zweite Substanz nicht mehr oder deutlich schwächer wahrnehmen kann (Sell 2014; Mücke und Lemmen 2009).

Obwohl oftmals beschrieben wird, dass der Mensch zu den Mikrosomatikern zählt, kann er eine große Anzahl von Gerüchen unterscheiden und in geringen Konzentrationen wahrnehmen (Sell 2014; Legrum 2011).

Die Schwierigkeit liegt eher bei der Beschreibung der Geruchsart, da unser Vokabular begrenzt ist und Gerüche nur vergleichend und nicht über physikalische Daten beschrieben werden können (Ohloff 2004). Viele Tiere hingegen sind Makrosomatiker, bei ihnen ist der Geruchssinn von entscheidender Bedeutung. Hunde haben im Vergleich mit dem Menschen durch ihre längere Nase eine längere Kontaktzeit mit dem Riechepithel, das auch deutlich mehr Riechzellen beinhaltet (200-300 Millionen) (Mücke und Lemmen 2009; Legrum 2011). Aufgrund des ausgeprägten Geruchssinns von Hunden können sie neben der Sprengstoff- oder Drogensuche auch teils für die Krebsfrüherkennung ausgebildet werden (Hatt 2012; Legrum 2011).

Bei einigen Menschen treten Riechstörungen auf. Es leiden fast 20 % der Bevölkerung an einer Geruchsstörung (Dysosmie) und 5 % sogar an einer Anosmie, dem kompletten Geruchsverlust, der nach Unfällen oder Krankheiten vorkommen kann. Während eine leichte Geruchsstörung einem Menschen oft kaum bewusst ist, bedeutet eine Anosmie einen deutlichen Verlust an Lebensqualität, da zum Beispiel auch der Geschmack mitbetroffen ist oder die Warnfunktion von Gerüchen entfällt. Es gibt neben der totalen Anosmie auch partielle Anosmien, die viel häufiger auftreten und sich nur auf Einzelstoffe beziehen (Mücke und Lemmen 2009; Legrum 2011; Landis et al. 2004).

4.3.2 Psychologische Wahrnehmung

Im Zusammenhang mit Gerüchen ist das persönliche subjektive Empfinden relevant. Die einen empfinden bestimmte Gerüche als angenehm, bei anderen bewirken die Gerüche genau das Gegenteil. Sie werden als störend empfunden. Noch bevor Reizreaktionen auf die Substanzen oder andere gesundheitliche Folgen auftreten, wird der Geruch meist schon wahrgenommen. Daher ist die Belästigung eine wichtige Befindlichkeitsstörungen bei auftretenden Gerüchen (Mücke und Lemmen 2009; Wolkoff und Nielsen 2001).

Die Wahrnehmung von Gerüchen und deren Bewertungen sind Lernprozesse (Mücke und Lemmen 2009; Herz 2005). Das macht die Geruchswahrnehmung und -erkennung sehr subjektiv, aber auch trainierbar. Der Geruchssinn ist zwar schon in der 26. Schwangerschaftswoche vollentwickelt (Hatt 2012), eine Unterscheidung, ob ein Geruch als angenehm oder unangenehm eingestuft wird, findet jedoch erst im Laufe des Lebens statt. Vor allem im Kindesalter orientiert sich der Mensch oftmals an seinen Eltern oder anderen Menschen in seinem Umfeld. Bei der Geruchswahrnehmung sind besonders die soziale und kulturelle Prägung entscheidend, aber auch das Alter oder Geschlecht des Menschen, seine persönlichen Assoziationen oder nur die Jahreszeit, Tagesform oder gar die derzeitige Stimmung können einen Einfluss haben (Sell 2014; Mücke und Lemmen 2009; Hatt 2012; Delahunty et al. 2006). Kulturelle Unterschiede sind zum Beispiel in der Studie von Sorokowska et al. (2013) beschrieben. Die Forschergruppe stellte im Vergleich fest, dass Geruchsschwellen bei Bewohnern des bolivianischen Regenwaldes niedriger lagen als die der Menschen aus Deutschland. Auch die Bewertung der Gerüche kann sich in anderen Kulturen unterscheiden. Der Geruch von verwesendem Fleisch bzw. bei Zersetzung von organischem Material wird in der Regel jedoch kulturübergreifend als unangenehm wahrgenommen (Mücke und Lemmen 2009). Dies hat mit unserem angeborenen Vermeidungs- oder Annäherungsverhalten zu tun, welches bei Tieren noch ausgeprägter vorhanden ist als beim Menschen. Dieses Vermeidungsverhalten (Aversion) erfüllt eine Schutz- oder Warnfunktion (Mücke und Lemmen 2009; Hatt 2012).

Der Geruch ist in der Tierwelt lebensnotwendig. Er dient neben den genannten Funktionen vor allem der Orientierung, Futtersuche, Revierabgrenzung, Fortpflanzung und Kommunikation (Sell 2014; Legrum 2011). Beim Menschen sind diese Funktionen zwar rückläufig und die anderen Sinne erscheinen zum Überleben wichtiger, aber dennoch spielt der Geruch noch eine große Rolle im Leben. Erinnerungen und emotionale Verknüpfungen mit Gerüchen und auch Geschmacksempfindungen sind immer noch von Bedeutung durch die starke Verknüpfung der beiden Sinneswahrnehmungen. Gerüche und Geschmacksempfindungen können sehr lange in der Erinnerung gespeichert werden, jedoch sind sie nicht einfach abrufbar (Hatt 2012). Wenn ein Geruch oder auch Geschmack jedoch wieder wahrgenommen wird, erinnern wir uns an längst vergangene Erlebnisse und Gefühle zurück. Dieses Phänomen beschreibt der französische Schriftsteller und Dichter Marcel Proust in seinem Buch »Auf der Suche nach der verlorenen Zeit«, als er sich durch den Geschmack von Madeleins an seine Kindheit erinnert und dabei ein Glücksgefühl erlebt (Proust 1913). Daher spricht man vom Proust-Effekt (Chu und Downes 2002), welcher die Grundlage für den gesamten Duftmarketingbereich bildet.

4.3.3 Geruchsmischungen

Nur selten nimmt der Mensch ausschließlich einen einzelnen Geruchsstoff wahr, meistens kommt er mit Geruchsmischungen in Kontakt. Dabei können die einzelnen Geruchsstoffe vollkommen unterschiedlich miteinander wechselwirken, was die Geruchsvorhersage und sensorische Bewertung deutlich erschwert (Sell 2014; Brattoli et al. 2013; Mücke und Lemmen 2009; Delahunty et al. 2006).

Wenn unterschwellige Komponenten, die als Einzelsubstanzen keinen Geruchsreiz auslösen, gemischt werden, kann es vorkommen, dass sie sich addieren oder synergistisch verhalten und in der Mischung ein Geruch wahrnehmbar ist (Delahunty et al. 2006). Recht häufig kommt es dazu, dass eine Komponente in der Geruchsmischung abgeschwächt wird (Sell 2014; Delahunty et al. 2006; Ohloff 2004). Eine Unterdrückung ist beispielsweise durch Kreuzadaptation möglich. So verringert Benzaldehyd in der Mischung den Eindruck von Acetophenon (Ohloff 2004). Undecanal unterdrückt den Geruchseindruck von Maiglöckchen, für den das Molekül Bourgeonal verantwortlich ist, die Substanzen sind Antagonisten (Brodin et al. 2009). In Geruchsmischungen können auch negativ und positiv empfundene Geruchsstoffe zusammenwirken, wobei in einem Zweifachgemisch oftmals die negativere die positivere unterdrückt (Sell 2014). Bei einem Intensitätsunterschied wirkt die als stärker empfundene Einzelsubstanz meist dominierend im Gemisch (Sell 2014; Brodin et al. 2009).

In Geruchsmischungen kann es vorkommen, dass eine Substanz die anderen vorkommenden Substanzen maskiert. Es wird nur noch diese Substanz wahrgenommen und alle anderen Geruchseindrücke werden ausgelöscht (Mücke und Lemmen 2009).

5 Grundlagen der Geruchsbewertung

5.1 Allgemeines

Trotz der Fortschritte in der chemischen Analytik und dem Bemühen, Geruchsschwellen den Messergebnissen zuzuordnen, ist die menschliche Nase bei der Detektion von Gerüchen bislang nicht zu ersetzen. Zum einen beruht dies auf der Tatsache, dass die Nase für eine Vielzahl von Substanzen der sensitivere Detektor im Vergleich zu üblichen Nachweismethoden ist, und zum anderen verhalten sich Gerüche nicht zwingend additiv, sondern können unvorhersehbar miteinander in Wechselwirkung treten (Ohloff 2004). Beispielsweise kann ein Geruchseindruck durch einen anderen verdeckt werden. In diesem Fall spricht man von der Maskierung von Gerüchen. Dieses Fehlen bei den derzeit verfügbaren messtechnischen Methoden zur Luftqualitätsmessung macht es immer noch unabdingbar, Gerüche mittels der menschlichen Nase zu bewerten. Zudem existieren für eine Vielzahl von Geruchssubstanzen keine Geruchsschwellenwerte, so dass oftmals eine Bewertung einer nachgewiesenen Geruchskomponente nicht stattfinden kann. Aber auch wenn Geruchsschwellenwerte von Substanzen bekannt sind, müssen diese Daten eingehend geprüft werden, mit welchen Methoden die Geruchsschwelle ermittelt wurde, da auch hier kein einheitliches Verfahren zur Bestimmung von Geruchsschwellen existiert.

5.2 Überblick über Geruchsbewertungsverfahren

Im Folgenden sind einige Verfahren zur Luftqualitätsmessung aufgeführt, die grob in drei Gruppen unterteilt werden können. Als erste Gruppe seien hier die rein personengebundenen Messverfahren genannt, die in den folgenden Abschnitten ausführlicher beschrieben werden. Eine weitere Gruppe sind die kombinierten Messverfahren aus personengebundenen und technischen Verfahren, wie die Gaschromatografie gekoppelt mit einem »Olfactory Detector Port (ODP)«. Die letzte Gruppe sind die technischen Verfahren zur Luftqualitätsbewertung. Diese Gruppe beinhaltet ausschließlich technische Messmethoden, wie beispielsweise die chemische Analytik mittels GC/MS oder die Multigassensorik (elektronischen Nasen).

5.2.1 Geruchsprüfung mittels Olfaktometer

Bei diesem Verfahren wird die Geruchsstoffkonzentration einer Luftprobe mit mindestens vier mit n-Butanol kalibrierten Probanden bestimmt. Hierbei dient die Geruchsschwelle als Grundeinheit für die Geruchsstoffkonzentrationsbestimmung. Mittels Verdünnung mit geruchsneutraler Luft wird die Geruchsschwelle einer Probe ermittelt. Die Messeinheit ist die Geruchseinheit (GE/m^3). Diese entspricht definitionsgemäß der Geruchsstoffkonzentration an der Wahrnehmungsschwelle (Mücke und Lemmen 2009). Diese Bewertungsmethode ist für Geruchsemissionen mit hohen Geruchsstoffkonzentrationen geeignet und findet deshalb im Außenluftbereich seine Anwendung. Mit diesem Geruchsprüfungsverfahren werden überwiegend starke Geruchsquellen bewertet, wie beispielsweise die Geruchsemissionen von Kläranlagen, Fabrikanlagen sowie Kompostierungsanlagen.

Frühere Untersuchungen (Fraunhofer WKI-iVTH-Forschungsvorhaben: Vermeidung von Geruchsstoffen in Produkten auf Holz- und Holzwerkstoffbasis für den Innenraum (2002)) von Produktemissionen aus dem Innenraumbereich ergaben, dass die Geruchsbewertung mittels Olfaktometer aufgrund der sehr geringen Geruchsstoffkonzentrationen weniger gut geeignet ist. Jedoch wurden diese Prüfungen überwiegend mit Beuteln aus dem Material Nalophan durchgeführt. Zudem wurde den Probanden über Standardverdünnungsstufen die Geruchsprobe über kleine Bewertungstrichter angeboten, solange bis die Testperson einen Geruch wahrnimmt. Ob dieses Geruchsbewertungsverfahren aufgrund der zu niedrigen Geruchsstoffkonzentrationen an die Grenzen seiner Nachweisempfindlichkeit stößt oder andere Einflüsse, wie Beuteleffekte, Trichter-geometrie, Probandenzahl eine Rolle bei den Untersuchungen spielte, wurde in dem Forschungsvorhaben nicht vollständig geklärt.



Abbildung 3: Akzeptanzskala.

5.2.2 Akzeptanz

Die Akzeptanz ist eine Bewertungsgröße für die zu erwartende Unzufriedenheit der Raumnutzer. Die Mindestgröße einer Prüfergruppe umfasst 15 ungeschulte Prüfer. Hierbei wird den Testpersonen die Frage gestellt »Stellen Sie sich vor, Sie würden mehrere Stunden täglich der Luft aus der Emissionsprüfkammer ausgesetzt sein. Wie akzeptabel ist die Luftqualität?« Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von »klar akzeptabel« (1) bis »klar unakzeptabel« (-1).

5.2.3 Hedonische Wirkung

Die hedonische Wirkung gibt Auskunft über die Lästigkeit eines Geruchs und ist stark von persönlichen und kulturellen Faktoren geprägt. Generell hängt die Bewertung von der Situation ab, in der ein Geruch zum ersten Mal gerochen wird (Mücke und Lemmen 2009). Bei der Bewertung der Hedonik sind mindestens 8 geschulte oder mindestens 15 ungeschulte Prüfer einzusetzen. »Geschulte« Prüfer bedeutet, dass die Probanden gemäß der Methode der »empfundenen Intensität« bzw. der Intensitätsbewertung mit Kategorienskala trainiert wurden (VDI, 2015). Die hedonische Wirkung wurde in diesem Forschungsvorhaben gemäß VDI 4302 Blatt 1 durchgeführt, da in der DIN EN ISO 16000-28 (2012) keine eindeutige Regelung hinsichtlich geschulter und ungeschulter Testpersonen besteht. Die Probanden bewerten die Probenluft mittels einer neunteiligen Skala von »extrem angenehm« (+4) bis »extrem unangenehm« (-4) (Abbildung 4).

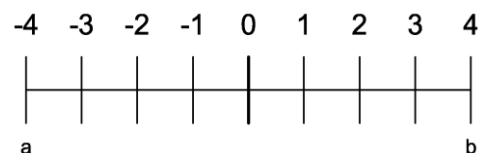


Abbildung 4: Hedonikskala. a. extrem unangenehm. b. extrem angenehm.

5.2.4 Geruchsart

Die Ermittlung der Geruchsart ist ein sensorisch direkt durchgeführtes Messverfahren, bei dem die Probanden den wahrgenommenen Geruch charakterisieren. Die Testpersonen beschreiben den Geruch nach deren eigenem Empfinden beispielsweise mit »muffig, faulig, süßlich, holzig, lösemittelartig...«. Die Geruchsqualität einer Substanz ist eine molekulare Eigenschaft, die strukturabhängig ist und eine spezifische Aktivität der

Rezeptoren voraussetzt (Chu und Downes 2002). Die Beschreibung der Geruchsqualität kann einen Hinweis auf die Geruchsquelle liefern. Bei der Bestimmung der Geruchsart gibt es keine Anforderungen für die Anzahl der teilnehmenden Probanden.

5.2.5 Intensität

Die Geruchsintensität ist die Stärke der Empfindung, die durch einen Geruchsreiz ausgelöst wird. Die Geruchsempfindung ist zum einen stoffkonzentrationsabhängig, kann sich aber auch durch die Art des Einatmens des Riechens deutlich erhöhen (Ohloff 2004). Für die Bestimmung der Intensität eines Geruchs gibt es zwei Verfahrensansätze:

- Verwendung von Kategorienskalen und Durchführung der Bewertung mit einer größeren Gruppe ungeschulter Prüfer (mindestens 15 Personen) (VDI, 2015).
- Verwendung eines Vergleichsmaßstabs und die Durchführung der Bewertung mit einer kleinen Gruppe geschulter Prüfer (mindestens 8 Personen). Auf das Verfahren der Geruchsbestimmung mittels empfundener Intensität wird kurz im Abschnitt 5.2.5.2 eingegangen. Eine ausführliche Beschreibung der Methode ist im Kapitel 5.3 gegeben.

5.2.5.1 Intensitätsbestimmung mittels Kategorienskala

Die Bewertung der Intensität erfolgt bei diesem Verfahren ganzzahlig anhand einer siebenstufigen Ordinalskala von nicht wahrnehmbar (0) bis extrem stark (6). Die Durchführung der Intensitätsbestimmung muss mit mindestens 15 Probanden erfolgen. Gemäß VDI 4302 Blatt 1 wird die Intensitätsbestimmung mittels Kategorienskala nur für die Bewertung von Innenraumluft angewendet.



Abbildung 5: Intensitätsskala.

5.2.5.2 Empfundene Intensität

Die Methode der empfundenen Intensität dient zur Intensitätsbestimmung der Emissionen von Geruchsstoffen aus Prüfkörpern gemäß DIN ISO 16000-28. Darüber hinaus findet diese Bewertungsmethode auch ihre Anwendung für Geruchsprüfungen von Innenraumluft (DIN ISO 16000-30, 2015).

Es werden Prüfkörper unter definierten Klimabedingungen in Prüfkammern untersucht. Zu definierten Zeiten wird die empfundene Intensität der Geruchsproben durch eine geschulte Probandengruppe von mindestens 8 Personen bewertet. Die Einheit der empfundenen Intensität II ist pi . Die Probanden bewerten die Intensität der Probe mit Hilfe eines Vergleichsmaßstabs. Die Anwendung des Vergleichsmaßstabs ermöglicht eine Standardisierung der Intensitätsbewertung und soll so zu einer Verringerung der Varianz der Messwerte durch die Vereinheitlichung des Bewertungskriteriums führen. Die Festlegung des Vergleichsmaßstabs erfolgt durch Aceton als Referenzstoff.

Da die Evaluierung dieser Geruchsbewertungsmethode unter Praxisbedingungen der Anlass dieses Forschungsvorhabens ist, wird im Material- und Methodenteil detaillierter auf die Verfahrensweise dieser Methode eingegangen.

5.3 Geruchsbewertung

Die in diesem Projekt durchgeführten Intensitätsbewertungen wurden ausschließlich mit der Methode der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28 durchgeführt. Diese Bewertungsmethode arbeitet mit geschulten Prüfern, die mittels eines acetonbetriebenen Vergleichsmaßstabs die Geruchsemissionen eines Prüfkörpers bewerten.

In den folgenden Abschnitten erfolgt eine detaillierte Beschreibung dieser Methode mit allen Verfahrensvarianten, die in der Norm beschrieben werden. Darüber hinaus werden zusätzliche Arbeitsschritte dargestellt, die nicht durch die Norm geregelt werden, aber einen wesentlichen Einfluss auf das Produzieren von verlässlichen Messwerten haben.

5.3.1 Allgemeine Anforderungen eines Vergleichsmaßstabs

Prinzipiell ist ein Vergleichsmaßstab ein Verdünnungssystem für geruchsaktive Substanzen. In diesem Forschungsvorhaben wird ausschließlich Aceton als Vergleichssubstanz genommen. Der zu bewertende Parameter ist die »empfundene Intensität« I und hat die Einheit pi . Die Skala der meisten Vergleichsmaßstäbe liegt in einem Bereich von 0 - 15 pi . Null pi ist die angenommene Geruchsschwelle von Aceton bei einer Konzentration von 20 mg/m^3 gemäß DIN ISO 16000-28. Eine Erhöhung von einem pi bedeutet definitionsgemäß eine Erhöhung der Aceton-Konzentration um 20 mg/m^3 . Die Testpersonen vergleichen die Geruchsintensität einer Probe mit den unterschiedlichen Aceton-Konzentrationen bzw. pi -Stufen am Vergleichsmaßstab und können somit die Intensität der jeweiligen Probe mittels Referenzquelle bestimmen.

Im Folgenden sind die Parameter aufgeführt, die ein Vergleichsmaßstab laut DIN ISO 16000-28 bzw. VDI 4302 Blatt 1 (2015) erfüllen muss. Zudem sind weitere Betriebsparameter des Vergleichsmaßstabs genannt, der in diesem Projekt für die Untersuchungen genutzt wurde.

- Anforderungen für den Aufbau eines Vergleichsmaßstab bzw. Gerätespezifikationen für die Geruchsbewertung gemäß DIN ISO 16000-28:

Eine spezifische Beschreibung für den Aufbau eines Vergleichsmaßstabs ist in der DIN ISO 16000-28 (2012) nicht gegeben. Es sind lediglich allgemeingültige Gerätespezifikationen des Geruchsbewertungs-equipments aufgeführt, die im Folgenden aufgelistet sind (DIN ISO 16000-28):

- Das Geruchsbewertungsequipment sollte keine Emissionen aufweisen, die die Probenluft kontaminiert.
- Die Bewertungstrichter müssen aus poliertem Edelstahl oder Glas bestehen.
- Ein konstanter Luftvolumenstrom von 0,6 - 1 l/s muss am Bewertungstrichter sichergestellt sein.
- Die Auslegung des Trichters hat so zu erfolgen, dass keine Umgebungsluft eingesaugt und mit der Probenluft durchmischt wird. Ein Öffnungswinkel von bis zu 12° muss gewährleistet sein.

- Der erste Bewertungspunkt eines acetonbetriebenen Vergleichsmaßstabs ist 0 pi (20 mg Aceton/m³ Luft) und stellt die Geruchsschwellenkonzentration dar. 15 pi entsprechen einer Acetonkonzentration von 320 mg Aceton/m³ Luft.
 - Die Konzentration für 1 pi bis n pi folgen einer linearen Abstufung der Aceton-Konzentration.
 - Eine maximale Änderung der Aceton-Konzentration an jeder pi-Stufe von 0,5 pi ist erlaubt.
- Anforderungen für den Aufbau eines Vergleichsmaßstab gemäß VDI 4302 Blatt 1:

Im Wesentlichen werden in der Richtlinie im Hinblick auf die Methode der empfundenen Intensität, die Punkte der DIN ISO 16000-28 aufgegriffen. Lediglich die rel. Luftfeuchte und die Temperatur des Aceton-Luft-Gemischs müssen gemäß der Richtlinie konstant gehalten werden. Konkrete Angaben über die Temperatur und relative Luftfeuchte für den Volumenstrom des Vergleichsmaßstabs existieren allerdings nicht. Zudem ist im Anhang der VDI beispielhaft der Aufbau eines Vergleichsmaßstabs beschrieben.
 - Weitere Aspekte für einen verlässlichen Betrieb eines Vergleichsmaßstabs:
 - Spülen der Nasen mit Neutralluft, um mögliche Adaptionseffekte so gering wie möglich zu halten.
 - Kontrollierte Temperierung und Befeuchtung des Luftstroms am Vergleichsmaßstab auf 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte, da die Proben, die bewertet werden müssen, überwiegend unter den gleichen klimatischen Bedingungen geprüft werden. Darüber hinaus kann durch zu niedrige oder zu hohe Luftfeuchtigkeit das Riechvermögen der Testpersonen beeinflusst werden.
 - Schnelle Darbietung einer konstanten Aceton-Konzentration an jeder pi-Stufe.
 - Minimierung der Acetonkontamination im Prüfraum durch diskontinuierliche Arbeitsweise des Vergleichsmaßstabs. Bei kontinuierlich betriebenen Vergleichsmaßstäben muss für eine ausreichende Absaugung des Aceton-Dampf-Gemischs gesorgt sein.

Ob ein Vergleichsmaßstab mit einem Trichter, zwei Trichtern oder einen Trichter für jede pi-Stufe ausgestattet sein muss, lassen die Vorschriften offen. Weitere Parameter wie die Temperierung/Befeuchtung des Luftstroms und die Art der Acetonquelle sind ebenfalls nicht vorgeschrieben. Das Fehlen dieser Vorgaben führt dazu, dass mittlerweile eine Vielzahl von unterschiedlichen Vergleichsmaßstäben existieren. Es gibt jedoch keine hinreichenden Untersuchungen im Hinblick auf den Einfluss von Temperatur und Befeuchtung des Luftstroms, der Trichtergeometrie sowie der Acetonquelle auf die empfundene Intensität eines Vergleichsmaßstabs gibt.

Tabelle 1 soll einen Überblick über die wesentlichen Unterschiede von Vergleichsmaßstäben geben, mit denen die empfundene Intensität von Produkten bestimmt wird.

Tabelle 1: Wesentliche Unterschiede von Vergleichsmaßstäben.

Anzahl der Trichter	Trichterlänge [cm]	Öffnungsdurchmesser am Trichter [cm]	Acetonquelle	Temperierung	Befeuchtung
1 - 7	9 - 31	4,5 - 9	flüssig, gasförmig	keine, konst. 23°C, ~20-24°C	keine, Umgebungsluftfeuchte, konst. 50 % rel. LF

Die Bestimmung der empfundenen Intensität wurde in diesem Projekt mit einem Vergleichsmaßstab durchgeführt, der eigens für dieses Projekt geplant, konstruiert und gebaut wurde. Eine detaillierte Beschreibung des Geräts ist im folgenden Abschnitt aufgeführt.

5.3.1.1 Gerätebeschreibung Vergleichsmaßstab

Der Vergleichsmaßstab ist ein Eigenbau, der im Fachbereich MAIC geplant und konstruiert wurde.

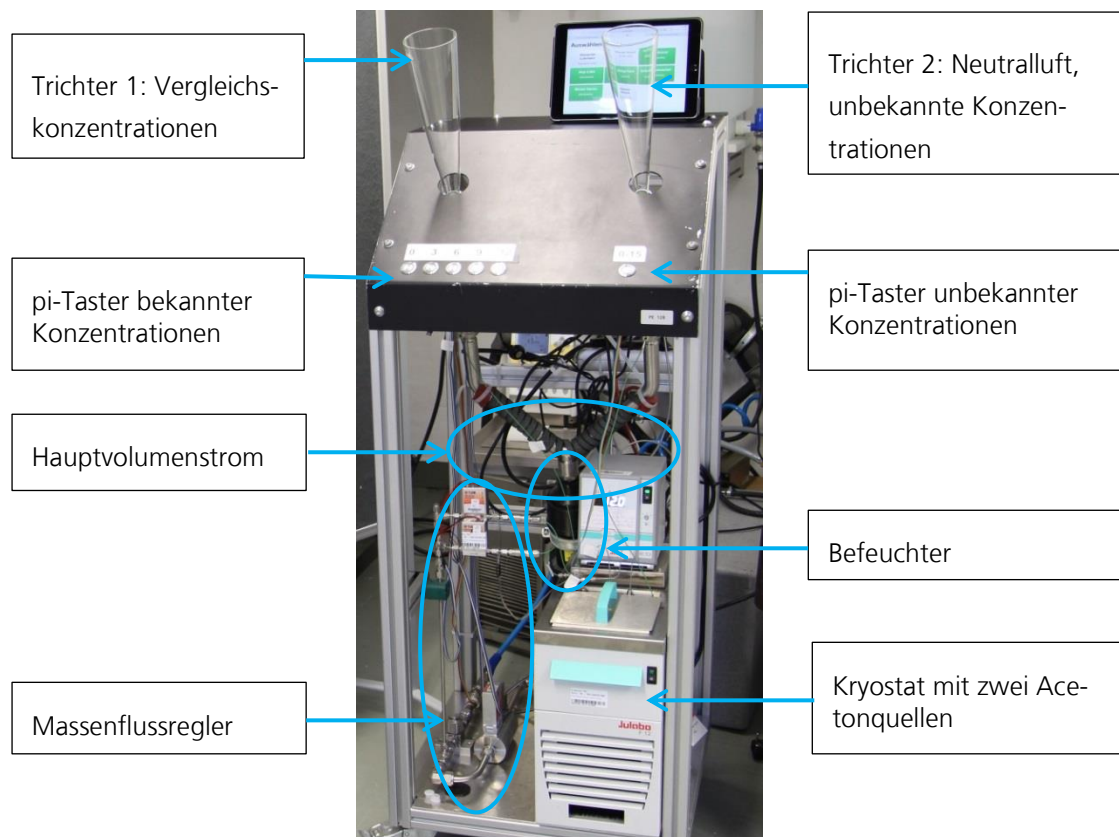


Abbildung 6: WKI-Vergleichsmaßstab.

Das Gerät (Abbildung 6) dient zur Verdünnung von Acetondampf in einem Konzentrationsbereich zwischen 20 - 320 mg/m³. Die unterschiedlichen Aceton-Konzentrationen werden den Testpersonen über 2 bauartgleiche Trichter für die Geruchsbewertung von Bauprodukten bzw. Konsumgütern angeboten. Die Trichter werden kontinuierlich mit gereinigter, befeuchteter und temperierter Pressluft gespült. Der Luftstrom wird über einen Nafion-Befeuchter auf 50 % relative Luftfeuchte befeuchtet. Die Temperierung des Luftstroms auf 23 °C erfolgt mit Hilfe von Heizbändern, die um die Edelstahlleitung des Hauptluftstroms gewickelt sind. Der Hauptluftstrom wird in zwei gleiche Luftströme geteilt, die den beiden Trichtern über ein Y-Edelstahlrohr zugeführt werden. Je nach Wahl der pi-Stufe durch den Probanden wird dem linken oder rechten Trichter ein bestimmter Volumenstrom Acetondampf zudosiert. Die unterschiedlichen Acetondampfflüsse werden über zwei Massenflussregler eingestellt, die wiederum über Microcontroller gesteuert werden. Die Microcontroller für die Regelung der Acetondampfströme und des Hauptluftstroms befinden sich in einem Steuergerät auf der Rückseite des VM. Jeder Massenflussregler ist mit einer Acetonquelle, die über einen Kryostaten konstant auf 12 °C temperiert wird, verbunden. Die Acetonquellen sind direkt über Kapillaren mit den Edelstahlleitungen der jeweiligen Bewertungstrichter verbunden.

Trichter 1 dient als Vergleich zur Intensitätsbewertung der Bauprodukte. An diesem Trichter können durch 5 Taster 5 unterschiedliche Konzentrationen eingestellt werden (0 – 3 – 6 – 9 – 12 pi). Generell liegt am Bewertungstrichter die richtige Konzentration vor, wenn die Tastenbeleuchtung konstant leuchtet.

An Trichter 2 können den Probanden unbekannte Aceton-Konzentrationen in einem Bereich von 0 - 15 pi in 1er-Schritten angeboten werden. Der Testleiter kann hier, über das auf der Rückseite befestigte Steuergerät, bestimmte Aceton-Konzentrationen einstellen.

Weiterhin wird dieser Trichter zum »Spülen der Nase« mit Neutralluft eingesetzt. Dies ist immer dann möglich, wenn die Tastenbeleuchtung weder blinkt noch konstant leuchtet, dann ist die Zudosierung nicht eingeschaltet.

Bedingungen am Vergleichsmaßstab

Der Vergleichsmaßstab muss mindestens eine Stunde vor Beginn der Geruchsprüfung in Betrieb genommen werden, so dass gewährleistet ist, dass die Acetonquellen eine konstante Temperatur von 12 °C haben und somit an beiden Bewertungstrichtern die geforderten Aceton-Konzentrationen vorliegen. Die einzelnen Aceton-Konzentrationen an beiden Trichtern werden mit einem Flammenionisationsdetektor arbeitstäglich überprüft. Die absoluten Aceton-Konzentrationen am Trichterauslass müssen denen der DIN ISO 16000-28 entsprechen (siehe Tabelle 2). Weiterhin werden die Temperatur und die relative Luftfeuchte an beiden Trichtern mit einem Temperatur- und Feuchte-Logger gemessen. Der Volumenstrom am Trichterauslass, der gemäß Norm zwischen 0,6 - 1 l/s liegen muss, wird ebenfalls arbeitstäglich überprüft. Die Messung des Volumenstroms wird mit einem Luftgeschwindigkeitsmessgerät durchgeführt.

Tabelle 2: pi-Stufen und Aceton-Konzentrationen an einem Vergleichsmaßstab laut DIN ISO 16000-28.

Trichter 1		Trichter 2	
Empfundene Intensität [pi]	Aceton-Konzentration [mg/m³]	Empfundene Intensität [pi]	Aceton-Konzentration [mg/m³]
0	20	0 - 15	20 - 320
3	80	-	-
6	140	-	-
9	200	-	-
12	260	-	-

Abweichung: $\pm 10 \text{ mg/m}^3$ bzw. $\pm 0,5 \text{ pi}$.

5.3.2 Probenahme bzw. -darbietung

Die Bewertung der empfundenen Intensität der Kammerluft kann direkt über einen Trichter an einer Emissionsprüfkammer erfolgen oder indirekt über in Beuteln gesammelte Probenluft. Welche der beiden Bewertungsvarianten gewählt wird, hängt vom Kammervolumen bzw. vom Volumenstrom, der am Kammerauslass bzw. Trichter vorherrscht, ab.

Laut DIN ISO 16000-28 muss am Bewertungstrichter ein Volumenstrom von 0,6 - 1 l/s vorhanden sein. Dieser Volumenstrom hängt vom eingestellten Luftwechsel der Prüfkammer ab.

Liegt der Volumenstrom am Kammerauslass zwischen 0,6 und 1 l/s, so kann direkt an der Prüfkammer bewertet werden (siehe Kapitel 5.3.2.2.1). Sollte dieser unterhalb von 0,6 l/s liegen, muss die Probenluft für die Geruchsbewertung in Beuteln gesammelt und über ein Proben-darbietungsgerät den Probanden zur Bewertung angeboten werden (siehe Kapitel 5.3.2.2.2).

5.3.2.1 Probenahme

Die Probenahme erfolgt mittels eines Geräts von der Firma Odournet – PURE Sniff XL (siehe Abbildung 7). Wesentlicher Bestandteil des PURE Sniff XL ist ein Kunststoffbehälter, in dem durch ein akkubetriebenes Gebläse ein Unterdruck bzw. ein Überdruck erzeugt werden kann. Das Material der Probenbeutel besteht überwiegend aus Nalophan. Für vergleichende Prüfungen mit anderen Beutelmaterialien wurden Beutel aus dem Material Tedlar benutzt.



Abbildung 7: Probenahmegerät Pure Sniff XL.

Für die Probenahme muss der Probenahmebeutel evakuiert in das Probenahmegerät eingebracht werden. Durch das Herstellen eines Unterdrucks in dem Gerät füllt sich der Beutel indirekt über den Probenahmeschlauch mit der zu untersuchenden Luft. Das Gebläse sowie die Akkus befinden sich im unteren Ende des Probenehmers. Das Gerät besteht aus durchsichtigem Kunststoff, so kann die Beutellentfaltung optisch kontrolliert werden.

Die Probenahme der Geruchsproben erfolgt unmittelbar vor der Geruchsbewertung, so dass die Lagerzeit der Luftproben im Beutel so gering wie möglich gehalten wird.

Weiterhin kann der Pure Sniff XL als Probendarbietungsgerät für die Geruchsprobenbewertung benutzt werden (siehe nächstes Kapitel 5.3.2.2).

5.3.2.2 Probendarbietung

Zur Emissionsmessung stehen verschiedene Kammergrößen zur Verfügung. Im Rahmen von Geruchsprüfungen werden hauptsächlich 1m^3 - und 3m^3 -Prüfkammern eingesetzt. Gemäß DIN ISO 16000-28 gibt es die Möglichkeit der direkten und indirekten Geruchsbewertung (siehe Kapitel 5.3.2.2.1 und 5.3.2.2.2). Zentraler Schwerpunkt dieser Untersuchung ist die Überprüfung, ob mit dieser Verfahrensvariante vergleichbare Ergebnisse erzeugt werden können. Das heißt, sind die Ergebnisse der direkten Bewertung einer Probe vergleichbar mit den parallel ermittelten Ergebnissen der indirekten Geruchsbewertung über Probenbeutel?

Ein weiterer wesentlicher Punkt bei der Probendarbietung ist die Art des Trichters, mit dem die Geruchsproben bewertet werden. In der Prüfvorschrift ist lediglich der Öffnungswinkel eines Darbietungstrichters aufgeführt. Um festzustellen, ob die Länge eines Trichters, Einlass- und Auslassdurchmesser Einflüsse auf die Bewertung haben, wurden zwei verschiedene Trichterarten für eine Auswahl an Prüfungen zu Vergleichszwecken verwendet (siehe Kapitel 5.5.3.2).

5.3.2.2.1 Direkte Bewertung

Wenn der Volumenstrom am Kammerauslass zwischen $0,6$ und 1 l/s liegt, kann die Probenluft direkt über einen Trichter (siehe Abbildung 8) von den Probanden bewertet werden. Dies ist beispielsweise an einer 3m^3 -Prüfkammer möglich. Der eingestellte Luftwechsel muss allerdings mindestens $0,72\text{ h}^{-1}$ betragen, um einen ausreichend großen Volumenstrom zu gewährleisten. Die Trichter werden vor jeder Geruchsprüfung thermisch bei mindestens 65 °C für 24 h gereinigt.



Abbildung 8: Direkte Geruchsbewertung an einer 3m^3 -Prüfkammer.

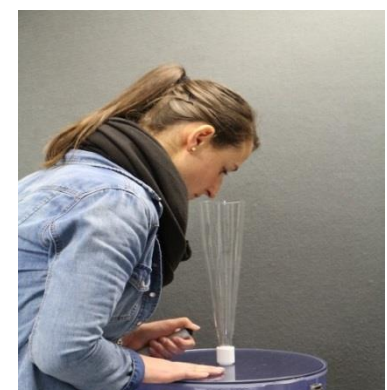


Abbildung 9: Indirekte Geruchsbewertung.

5.3.2.2.2 Indirekte Bewertung

Ab einem Prüfkammervolumen von $\leq 3\text{m}^3$ liegt der Volumenstrom am Kammerauslass unterhalb der geforderten 0,6 l/s. Hier muss die Probenluft für die Geruchsbewertung in Beuteln gesammelt werden. Für die Probendarbietung über den PURE Sniff XL wird dieser an eine Druckluftleitung angeschlossen. Betätigt ein Proband nun über einen Taster die Funktion »Probendarbietung«, wird Überdruck in dem Gerät erzeugt. Die Probenluft wird aus dem Beutel gedrückt und dem Probanden über einen Trichter angeboten (siehe Abbildung 9).

5.3.3 Prüfraumanforderungen

Der Hintergrundgeruch des Prüfraums sollte gering genug sein, um eine sachgerechte Geruchsbewertung zu erlauben, so dass sich keine sensorische Adaption einstellt. Die Geruchsintensität im Raum wird vor Beginn einer Geruchsprüfung ermittelt und muss ≤ 4 pi sein. Die Temperaturschwankungen während einer Geruchsprüfung müssen kleiner ± 3 °C sein. Die Maximaltemperatur im Labor darf nicht mehr als 25 °C betragen bei einer rel. Luftfeuchte von $50\% \pm 5\%$. Die Mindestbelüftungsrate von 20 l/s je Person oder eine Luftaustauschrate von 5 h^{-1} ist notwendig.

5.3.4 Testleiter

Der Versuchsleiter trägt die Verantwortung für die Prüfergruppe und organisiert die Geruchsprüfung. Weiterhin ist es wichtig, dass der Testleiter über Erfahrungen im Umgang mit Prüfern und Geruchsbewertungen verfügt. Weiterhin trägt der Testleiter die Verantwortung für den gesamten Prozessablauf im Hinblick auf die Vorbereitung der dazureichenden Proben und für die Untersuchungsreihe.

Der Versuchsleiter muss allen Prüfern das Ziel der Prüfung erläutern und den erwarteten Zeitrahmen darlegen. Zudem muss er die Bewertung und Registrierung der Daten in der Weise beaufsichtigen, dass keine Beeinflussung unter den Prüfern angenommen werden kann.

Der Versuchsleiter darf sich niemals an der Bewertung des Probengeruchs beteiligen.

5.3.5 Probanden

Zur Gewährleistung eines unbeeinflussten Geruchssinns müssen alle Probanden vor einer Geruchsmessung folgende Punkte beachten:

- der Prüfer/die Prüferin muss motiviert sein, seine/ihre Arbeit gewissenhaft auszuführen;
- der Prüfer/die Prüferin muss für die vollständige Untersuchungsreihe verfügbar sein;
- ab 30 min vor und während der Prüfung darf der Prüfer/die Prüferin weder rauchen, essen, trinken (außer Wasser) noch Kaugummi oder Süßigkeiten zu sich nehmen;
- Die Prüfer müssen großen Wert darauf legen, keine Störungen ihrer eigenen Wahrnehmung oder der von anderen im Prüfraum auf Grund mangelnder persönlicher Hygiene oder der Verwendung von Parfüm, Deodorant, Bodylotion oder Kosmetika zu verursachen;

- Prüfer, die an einer Erkältung oder irgendwelchen anderen Beschwerden leiden, die ihre Geruchswahrnehmung beeinträchtigen könnten (z. B. allergische Anfälle, Sinusitis), müssen von der Teilnahme an den Prüfungen ausgeschlossen werden;
- Die Prüfer müssen im Prüfraum oder in einem Raum mit vergleichbaren Bedingungen 5 min vor dem Beginn der Prüfungen anwesend sein, um sich an die aktuelle Umgebung des Messraums zu gewöhnen;
- Während der Geruchsprüfung ist die Kommunikation der Testpersonen untereinander hinsichtlich der Ergebnisse zu unterlassen.

Wichtig ist ein hohes Maß an Verantwortungsbewusstsein. Die Testpersonen müssen Ihre Messaufgabe sorgfältig und konzentriert durchführen.

5.3.6 Durchführung einer Geruchsprüfung

Die sensorischen Prüfungen in diesem Projekt wurden überwiegend in Kombination mit Emissionsuntersuchungen von Produkten für den Innenraum durchgeführt. Es wurden die freigesetzten flüchtigen organischen Verbindungen und die flüchtigen Aldehyde (chemische Prüfung) einer Probe nachgewiesen. Parallel dazu wurde die Geruchswahrnehmung eines Produkts im Hinblick auf die Intensität, die hedonische Wirkung und die Geruchsart (sensorische Prüfung) ermittelt. Die Parameter der sensorischen Prüfung erfolgten immer entkoppelt voneinander. Das heißt, dass immer zuerst die Geruchsintensität eines Produkts bestimmt wurde und erst im Anschluss daran die Bewertung der Hedonik und Geruchsqualität stattfand. In den folgenden Kapiteln wird die Durchführung sensorischer Prüfungen in Kombination mit Emissionsprüfkammern beschrieben.

5.3.6.1 Empfundene Intensität

Die Methode der empfundenen Intensität lässt sich in die Leistungsprüfung der Probanden, die Bewertung einer Probe und in ein Training der potentiellen Testpersonen unterteilen. Diese drei Kategorien des Verfahrens werden im Folgenden beschrieben.

Leistungsprüfung der Probanden

Zu Beginn jeder Untersuchungsreihe betreten die Probanden den Prüfraum mit dem Wissen, als erstes die Hintergrundgerüche dieses Raums zu bewerten. Die empfundene Intensität des Prüfraums darf 4 pi nicht überschreiten.

Danach halten sich die Probanden mindestens 5 Minuten im Prüfraum auf, bevor die eigentliche Geruchsprüfung beginnt, um sich an die Umgebungsbedingungen zu gewöhnen.

Anschließend riecht jeder Proband mindestens einmal an der mittleren (6 pi) Aceton-Konzentration.

Danach müssen die Probanden mindestens 2 unbekannte Acetonproben an jedem Prüfungstag bzw. Bewertungstag einstufen. Nachdem der Proband die Beurteilung einer Acetonprobe abgeschlossen hat, erhält dieser eine Rückmeldung über die Richtigkeit (1. Antwort). Ein Proband muss die Bewertung wiederholen, wenn er mit mehr als +/- 2 pi vom tatsächlichen Wert abweicht (2. Antwort). Gelingt es der Testperson auch im

zweiten Versuch nicht, den richtigen Wert zu »erriechen«, werden deren Bewertungen von der Ergebnisberechnung ausgeschlossen. In der DIN ISO 16000-28 ist das Kriterium mit 2 pi angegeben. Somit ist nicht eindeutig definiert, ob ein Konfidenzintervall mit dem Wert 2,1 pi noch zulässig ist oder bereits abgelehnt werden müsste. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde sich darauf geeinigt, dass ein Vertrauensbereich von 2,1 pi bereits das ± 2 pi Kriterium nicht erfüllt.

Zudem wurden im Rahmen dieses Projekts die Geruchsbewertungen der Testpersonen markiert, die die Leistungsprüfung nicht bestanden haben. Dennoch durften die Personen weiterhin an der jeweiligen Probenbewertung teilnehmen. Somit wurden zwei Datensätze für jede Geruchsbewertung ermittelt (Rohdaten/korrigierte Daten). Die beiden Datensätze wurden dahingehend ausgewertet, inwieweit sich die Ergebnisse der Rohdaten und der korrigierten Daten signifikant voneinander unterscheiden (siehe Kapitel 6.10).

Darüber hinaus wurden mit den Daten der Leistungsprüfung weitere statistische Betrachtungen im Hinblick auf die menschliche Geruchswahrnehmung von Acetonproben durchgeführt. Im Speziellen wurden hier geschlechterspezifische Unterschiede betrachtet, der Mittelwert und die Standardabweichung von insgesamt 988 Probandenantworten einzelner pi-Stufen (3, 6, 9, 12 pi) ausgewertet sowie die Mittelwerte der empfundenen Intensität von 134 Geruchsbewertungen gegen die Referenzkonzentration im Bereich zwischen 2 - 15 pi verglichen (siehe Kapitel 6.12).

Weiterhin fließen die Werte der Leistungsprüfung in ein Probandentagebuch ein. Falls ein Proband bei der Acetonprobenbewertung bei drei aufeinanderfolgenden Kalibrierungen außerhalb der zulässigen Toleranz liegt, muss die Testperson ein erneutes 5-tägiges Training absolvieren.

Bewertungsverfahren

Nachdem die Acetonleistungsprüfung abgeschlossen ist, kann die eigentliche Geruchsbewertung der Proben beginnen. Die Probanden riechen zunächst an der unbekannten Probe. Abhängig hiervon entscheiden sie, in welchen Bereich des Vergleichsmaßstabs sie die empfundene Intensität der unbekannten Probe einordnen würden. Dabei sollen sie an den entsprechenden Referenzkonzentrationslösungen in aufsteigender Konzentration riechen. Der Bewertungsablauf sollte 90 Sekunden pro Prüfer nicht überschreiten.

Um Adaptationseffekte zu reduzieren, sollten die Testpersonen immer an der Neutralluft riechen (»die Nase spülen«) bevor sie noch einmal an der Probe oder bevor sie an Referenzlösungen mit geringeren Konzentrationen riechen. Zudem hat der Prüfer generell die Möglichkeit, seine Nase mit Neutralluft zu »spülen«.

Nachdem die Testperson ihre Bewertung abgeschlossen hat, wird diese elektronisch (siehe Bedienungsanleitung Geruchssoftware) aufgezeichnet. Wenn der Prüfer seine Bewertung nicht innerhalb von 90 sec abschließt, kann er seine Bewertung nach einer fünfminütigen Regeneration des Geruchssinns wiederholen.

Am Ende der Bewertung werden über die Auswertesoftware der Mittelwert, die Standardabweichung und das Konfidenzintervall ermittelt. Der Testleiter kann so direkt ermitteln, ob das ± 2 pi Kriterium der Prüfung eingehalten wurde, und somit entscheiden, ob die Prüfungen wiederholt werden müssen.

Training

Vorauswahl der Testpersonen:

Zur Eignungsüberprüfung der Probanden wurde zunächst der »Screening-16-test« mit Sniffin' Sticks als Kurztest durchgeführt. Sniffin Sticks sind Filzstifte, die statt mit Farbstoffen mit einem synthetischen Duftstoff gefüllt sind. Diese sind nach Angaben des Herstellers gesundheitlich unbedenklich. Der Kurztest nimmt nur etwa 4-5 Minuten in Anspruch und gibt einen Anhaltspunkt über mögliche vorhandene Riechstörungen (Hummel 2001).

Bei dem Test wurden insgesamt 16 Gerüche mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten dargeboten. Die Personen müssen sich für die Geruchsqualität anhand der vorgegeben Auswahlmöglichkeiten (forced-choice) entscheiden. Dabei führten die Prüfungsleiter den Probanden den Stift in etwa 2 cm Abstand für eine Zeit von 2-3 Sekunden mittig an die Nasenöffnung. Es waren maximal vier Fehler erlaubt. Erst nach bestandenem Test durften die Testpersonen am Training für die Intensitätsbestimmung teilnehmen.

Geruchstraining empfundene Intensität:

Eine Prüfergruppe (Panel) benötigt ein Training, um am Vergleichsmaßstab die empfundene Intensität als Funktion von Referenzstoffkonzentrationen bewerten zu können. Hierzu gehört auch, dass sich die Prüfer mit der Art des möglicherweise unbekannten Materialgeruchs des Vergleichsmaßstabs vertraut machen. Dies ist notwendig, um genaue, reproduzierbare Messungen mit geringen Standardabweichungen zu erreichen.

Ein Probandentraining umfasst fünf Tage. Ein Überblick über das Trainingsprogramm ist in

Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3: Ablaufschema für das Probandentraining.

Trainingstag	Thematik	Aufgabe
Tag 1	Vorstellung des Schulungsplans Eingewöhnung	8 Acetonproben
Tag 2	Training Eingewöhnung an die Bewertung von Innenraummaterialien	4 Acetonproben 4 Innenraummaterialien
Tag 3	Training Eingewöhnung an den Prüfablauf	2 Acetonproben (Kalibrierung) 6 Innenraummaterialien
Tag 4	Prüfablauf für die Ermittlung des Schulungsergebnisses	2 Acetonproben (Kalibrierung) 4 Acetonproben 2 Innenraummaterialien
Tag 5	Prüfablauf für die Ermittlung des Schulungsergebnisses Auswertung der Schulung	2 Acetonproben (Kalibrierung) 4 Acetonproben 2 Innenraummaterialien

Der Versuchsleiter dokumentiert über die gesamte Schulung die Bewertung und Leistung jedes Prüfers. Es ist unerlässlich, die Versuchspersonen über ihre individuelle Leistung zu informieren, um die Motivation aufrecht zu erhalten.

Zeigt der Prüfer in den ersten drei Trainingstagen keinen Fortschritt, kann dieser bereits vor Abschluss der Schulung ausgeschlossen werden.

Bei der Auswertung der Schulungsergebnisse werden die Bewertungen der Acetonproben der beiden letzten Schulungstage für jeden Prüfer in ein Diagramm nach Bild 1 eingetragen. In diesem Diagramm sind die Abweichungen der Prüfungen vom eingestellten pi-Wert in Toleranzbereichen dargestellt.

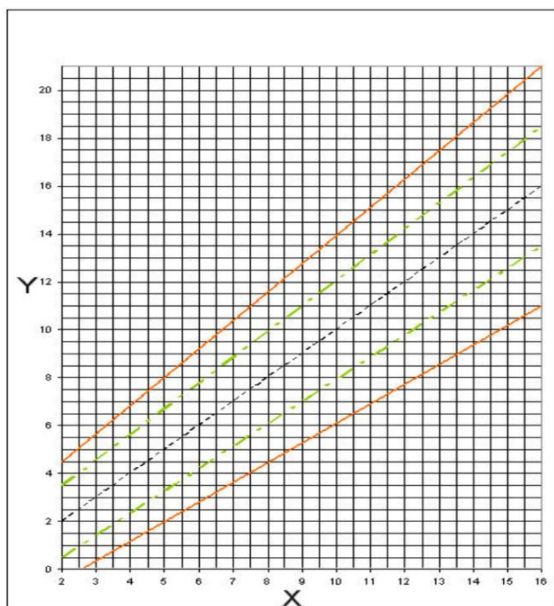


Abbildung 10: Toleranzbereich für die ermittelten Werte der Prüfer zur empfundenen Intensität (X vorher festgelegte empfundene Intensität, in π_i , gemessene empfundene Intensität, in π_i) (DIN ISO 16000-28).

Liegt die eingetragene Bewertung auf der gestrichelten schwarzen Linie, so entspricht der bewertete π_i -Wert dem eingestellten. Der Bereich zwischen den Strich-Punkt-Linien (grün) stellt den Kernbereich dar. Außerhalb des Kernbereichs innerhalb der durchgezogenen roten Linien liegt der Randbereich.

Die Schulung gilt als bestanden, wenn für die acht Acetonproben (der letzten beiden Schulungstage) mindestens fünf Proben im Kernbereich liegen, maximal drei im Randbereich und maximal einer im Außenbereich.

5.3.6.2 Hedonik und Geruchsart

Die hedonische Wirkung sowie die Geruchsart der hier untersuchten Bauprodukte wurden immer im Anschluss an die Intensitätsbewertung einer Geruchsprobe durchgeführt. Beide Bewertungsverfahren sind in Kapitel 5.2.3 und 5.2.4 beschrieben.

5.3.7 Auswertesoftware

Zur Erfassung und Bewertung der Daten einer Geruchsprüfung wurde während der Projektlaufzeit ein Programm entwickelt, das im Wesentlichen aus einer Testleiter- und Probandenplattform besteht. Der Testleiter kann über ein »web interface« die Proben für die Leistungsprüfung und die zu bewertenden Proben eingeben. Darüber hinaus können die jeweiligen Probanden ausgewählt werden, die an einer Geruchsuntersuchung teilnehmen. Die Daten der Probanden der jeweiligen Bewertung werden dann direkt in ein Probandentagebuch übermittelt, so dass der Werdegang einer Testperson dokumentiert werden kann. Weiterhin wird dem Testleiter während der Leistungsüberprüfung der Probanden direkt angezeigt, ob eine Testperson die Leistungsprüfung bestanden oder nicht bestanden hat. Somit können die Probanden von einer Prüfung ausgeschlossen werden, die die Prüfung nicht bestanden haben. Weiterhin werden dem Testleiter während der Geruchsbewertung der Mittelwert, die Standardabweichung und der 90 % Vertrauensbereich der Probandengruppe angezeigt. Diese Daten werden nach Beendigung der Geruchsprüfung in ein excel-Datenfile übermittelt und können entsprechend, ohne Übertragungsfehler, für weitere Auswertungen verwendet werden. Das Training der Probanden wird ebenfalls über das Programm erfasst und ausgewertet, so dass der verantwortliche Testleiter die Trainingserfolge verfolgen kann.



Abbildung 11: Flammenionisationsdetektor (FID).

Die Antwort des jeweiligen Probanden während einer Geruchsprüfung wird direkt über einen Tablet-Computer, der sich am Vergleichsmaßstab befindet, erfasst. Jeder Proband muss seine Antwort über einen Button, auf dem der Name der Testperson steht, eingeben. Fehlerhafte Eingaben kann der Proband nochmals korrigieren.

5.3.8 Acetonbestimmung

Ein wesentlicher Faktor, um verlässliche und vergleichbare Geruchsintensitäten zu ermitteln, ist die Bestimmung der absoluten Aceton-Konzentration an den jeweiligen pi-Bewertungsstufen. Gemäß der DIN ISO 16000-28 sind keine Regelungen aufgeführt, um die Aceton-Konzentration der jeweiligen pi-Stufen am Vergleichsmaßstab zu ermitteln. Es wird einzig auf die Abweichung von 0,5 pi hingewiesen, die innerhalb einer pi-Stufe erlaubt ist. Beispielsweise fehlen in der Norm Anforderungen, wie und mit welcher Art von Messgerät die Aceton-Konzentration bestimmt werden soll. Um aber Messwerte zu erzeugen, die auch vergleichbar mit anderen Laboren sind, war dies ein wesentlicher Aspekt bei der Evaluierung dieses Geruchsbewertungsverfahrens. Gerade im Hinblick auf die Einführung dieser Bewertungsmethode in das AgBB-Schema, und somit als Anforderungskriterium für das Bestehen oder Nichtbestehen eines Bauprodukts, sollte hier ein besonderes Augenmerk auf möglichst vergleichbare absolute Aceton-Konzentrationen gelegt werden.

In den folgenden Abschnitten wird auf die Bestimmung von Aceton im Allgemeinen und im Speziellen mittels Flammenionisationsdetektor eingegangen. Es wurden Untersuchungen mit verschiedenen Messverfahren durchgeführt sowie verschiedene Messvarianten eines Messgeräts (FID) verwendet.

5.3.8.1 Allgemein

Aceton ist eine ubiquitär vorkommende Substanz im Innenraumbereich und gehört in die Gruppe der very volatile organic compounds (VVOC). Die Substanz hat eine relativ hohe Geruchsschwelle von 20 mg/m^3 (DIN ISO 16000-28) und ist somit für innenraumrelevante Fragestellungen hinsichtlich Geruchsbelästigungen nahezu bedeutungslos. Innenraumübliche Aceton-Konzentrationen bewegen sich überwiegend im $\mu\text{g/m}^3$ Bereich. Die Aceton-Konzentrationen an einem Vergleichsmaßstab jedoch liegen in einem vielfach höheren Bereich ($20 - 320 \text{ mg/m}^3$). Diese für Innenräume untypisch hohen Aceton-Konzentrationen machen es für Analysengeräte, deren Messbereich üblicherweise für geringere Konzentrationen ausgelegt ist, problematisch, »richtige« Messwerte zu ermitteln.



Abbildung 12: Messstutzen des FIDs am Trichter des Vergleichsmaßstabs.

Um ein geeignetes Messverfahren zur Einstellung der Aceton-Konzentrationen am Vergleichsmaßstab zu finden, wurden die am WKI vorhandenen Analysengeräte bzw. Verfahren zur Bestimmung einer Acetonkonzentration von $\sim 120 \text{ mg/m}^3$ (48 ppm) herangezogen. Folgende Analysengeräte/Messverfahren wurden verwendet:

- Sammelmedium DNPH-Kartusche, Analysengerät HPLC/UV
- Flammenionisationsdetektor ($\text{FID}_{\text{Propan}}$) kalibriert auf Propan
- 2 Fotoakustikdetektoren ($\text{PAD}_{\text{Propan}}$) kalibriert auf Propan
- 1 Fotoakustikdetektor ($\text{PAD}_{\text{Toluen}}$) kalibriert auf Toluol

Acetonprüfgas, mit einer Konzentration von ungefähr 120 mg/m^3 , wurde in einen Nalophan-Beutel gefüllt. Die einzelnen Geräte/Kartuschen wurden so schnell wie möglich an den Beutel angeschlossen und die Aceton-Konzentration wurde bestimmt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6.10 dargestellt.

5.3.8.2 Acetonbestimmung mittels Flammenionisationsdetektor (FID)

Die Aceton-Konzentrationen der pi-Stufen am WKI-Vergleichsmaßstab wurden arbeitstäglich mit einem Flammenionisationsdetektor der Firma Bernath Atomic (Abbildung 11) nachgewiesen.

Die Kalibrierung erfolgt mit Aceton als Prüfgas. Nachdem das Gerät 45 min eingeschaltet ist bzw. eine Betriebstemperatur von 200°C erreicht hat und die Flamme 5 min brennt, kann mit der Kalibrierung begonnen werden. Zunächst wird der Nullpunkt des Geräts mit synthetischer Luft eingestellt. Die Endpunkteinstellung erfolgt mit einem Acetonprüfgas im Konzentrationsbereich von 150 mg/m^3 . Abschließend wird der Messwer-

tumschalter in die Mittelstellung »MESSUNG« gestellt. Zur Kontrolle der Kalibrierung wird ein zweites Acetonprüfgas ($c = 300 \text{ mg/m}^3 = 125 \text{ ppm}$) an den Messstutzen (beheizte Transferline) angeschlossen und überprüft.

Da es bisher keine Acetonprüfgase mit DKD-Zertifikat gibt, erfolgt die Rückführung vierteljährlich mit einem DKD-zertifizierten Propanprüfgas. Hierbei wird die Kalibrierung zunächst wie oben beschrieben durchgeführt. Als zusätzlicher Schritt wird das Propanprüfgas an den Endgasstutzen angeschlossen und die Konzentration des Prüfgases bestimmt. Der Messwert wird danach mit dem Faktor 1,587 auf Propan umgerechnet. Der Faktor für die Umrechnung von Aceton auf Propan wurde für den WKI-FID mittels verschiedener Propan- und Acetonprüfgase ermittelt und ist somit gerätespezifisch. Die zulässige Abweichung der Aceton-Konzentration an einer pi-Stufe beträgt $\pm 4 \text{ ppm}$.

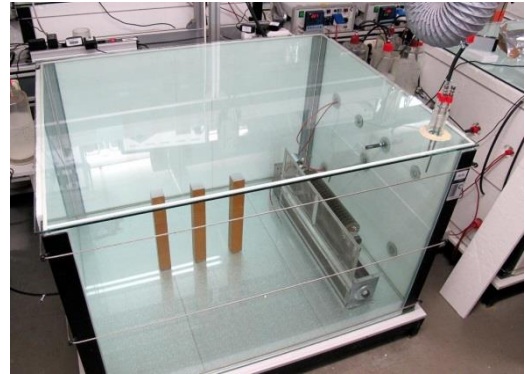


Abbildung 13: 1m³-Glaskammer.

Nachdem der Vergleichsmaßstab ca. 45 Minuten eingeschaltet ist, kann die Überprüfung der einzelnen Aceton-Konzentrationen an den Trichtern mittels FID durchgeführt werden. Die Bestimmung der Konzentrationen am Vergleichsmaßstab findet arbeitstäglich statt. Dafür wird der Messstutzen des FIDs mittig mit einer Halterung auf den jeweiligen Trichter positioniert (siehe Abbildung 12). Durch Betätigen des Tasters zur Einstellung der PI-Stufen wird die jeweilige Aceton-Konzentration eingestellt. Sobald die Tastenbeleuchtung nicht mehr blinkt, liegt am Bewertungstrichter eine konstante Aceton-Konzentration vor. Dieser Messwert wird dokumentiert.

Anfänglich wurde der FID zum Nachweis von Aceton mit Propanprüfgas kalibriert. Die Messwerte wurden mit dem vom Hersteller angegebenen Umrechnungsfaktor für Aceton auf die jeweilige Aceton-Konzentration umgerechnet. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde der FID mit Acetonprüfgas kalibriert, um mögliche Fehlerquellen durch Umrechnungsfaktoren zu minimieren. Eine Darstellung der Konzentrationsbestimmung mit den unterschiedlichen Kalibriergasen im Vergleich zu den Sollwerten der Aceton-Konzentrationen eines Vergleichsmaßstabs ist in Kapitel 6.10 aufgeführt.

5.3.8.3 Parallele Acetonbestimmung mittels Photoionisations- (PID) und Flammenionisationsdetektors (FID)

Wie in den vorangegangenen Kapitel schon beschrieben, ist ein wesentlicher Punkt bei der Geruchsbewertung mittels der Methode der empfundenen Intensität die Messung der absoluten Acetonkonzentrationen an den jeweiligen Bewertungsstufen eines Vergleichsmaßstabs. Welche Messgeräte bzw. Messmethoden dafür verwendet werden sollen, ist in der DIN ISO 16000-28 nicht definiert. Um zu ermitteln, in welchen Größenordnungen Unterschiede auftreten, wenn von zwei Laboren zwei verschiedene Messgeräte mit unterschiedlichen Messprinzipien verwendet werden, wurden zeitgleich Acetonmessungen mit einem Photoionisationsdetektor (Model: Auer PPM der Firma MSA Auer, Messbereich von 0,1 bis 2000 ppm) des Bremer Umweltinstituts (BRUMI) und mit dem WKI-FID durchgeführt. Das BRUMI ist ebenfalls akkreditier-

tes Prüflabor gemäß DIN ISO 16000-28 und führt Geruchsintensitätsbestimmungen mittels Aceton-Vergleichsmaßstabs durch. Der PID wird zur arbeitstäglichen Einstellung und Überprüfung des BRUMI-Vergleichsmaßstabs genutzt. Die Untersuchungen erfolgten mit beiden Messgeräten am WKI-Vergleichsmaßstab und an zwei Acetonprüfgasen in Stickstoff mit unterschiedlichen Konzentrationsstufen (150 mg/m³/300 mg/m³). Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen sind in Kapitel 6.10.3 dargestellt.

5.3.9 Volumenstrombestimmung an einem Bewertungstrichter

Der geforderte Volumenstrom von 0,6 l/s, der gemäß DIN ISO 16000-28 an einem Bewertungstrichter vorliegen muss, wird arbeitstäglich mit einem Hitzdrahtanemometer überprüft. Da am Trichterauslass turbulente Strömungsverhältnisse vorherrschen und somit eine Bestimmung des Volumenstroms an dieser Stelle nicht möglich ist, wird der Volumenstrom über ein Laminarisierungsrohr laminarisiert. Erst dann kann der Volumenstrom des Luftstroms mit Hilfe des Anemometers ermittelt werden. Da es für Hitzdrahtanemometer kein DKD-Zertifikat gibt, wird das Messgerät vierteljährlich mit einem DKD zertifizierten Flügelradanemometer gegengeprüft.

5.4 Emissionskammerprüfung

Hauptaugenmerk in diesem Forschungsvorhaben war die Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Verfahrens der Geruchsbewertungsmethode der empfundenen Intensität (DIN ISO 16000-28, 2012) durch Prüfung unterschiedlicher Bauproduktgruppen. Hierbei wurden als wesentliche Untersuchungsmethoden Emissionsmessungen in 1- und 3m³-Prüfkammern gemäß DIN ISO 16000-9 (2008) angewendet. Zentraler Schwerpunkt dieses Arbeitsschritts war die Charakterisierung chemischer und sensorischer Emissionen von Bauprodukten mit anschließender Bewertung gemäß DIBt/AgBB-Schema über 28 Tage unter Praxisbedingungen. Zum einen



Abbildung 14: 3m³-Edelstahlkammer.

wurden die flüchtigen Aldehyde und VOCs nachgewiesen und zum anderen die empfundene Intensität, die Hedonik und die Geruchsart der Produkte ermittelt. Alle chemischen und sensorischen Prüfungen erfolgten nach 3d, 7d, 14d und 28d.

Da bei Geruchsprüfungen am Bewertungstrichter ein Volumenstrom von mindestens 0,6 l/s vorliegen muss, können direkte Bewertungen des Geruchseindrucks von Materialien nur ab einer Kammergröße von 3m³ durchgeführt werden. Erst ab einem Kammervolumen von 3m³ ist ab einem Luftwechsel von 0,72 h⁻¹ gewährleistet, dass der Volumenstrom ausreichend hoch für die Bewertung ist. Geruchsuntersuchungen in Kammern kleiner 3m³ müssen über den Umweg der Beutelluftbewertung stattfinden. Die Beutel, die während diesem Vorhaben zur Geruchsbewertung verwendet wurden, bestanden überwiegend aus dem Material Nalophan.

Nalophan-Beutel sind nicht wiederverwendbar und bestehen aus dem polaren und thermoplastischen Kunststoff Polyethylenterephthalat (PET). Für einige Fragestellungen wurden zusätzlich Beutel aus dem Material Tedlar verwendet. Beutel aus Tedlar bestehen ebenfalls aus einem thermoplastischen Kunststoff, dem Polyvinylfluorid (PVF). Allerdings ist Tedlar wiederverwendbar, nachdem das Material thermisch gereinigt wurde. Bei einigen Geruchsbewertungen wurde parallel Probenluft in Nalophan- und Tedlar-Beutel gesammelt und zeitnah durch ein Probandenteam bewertet.

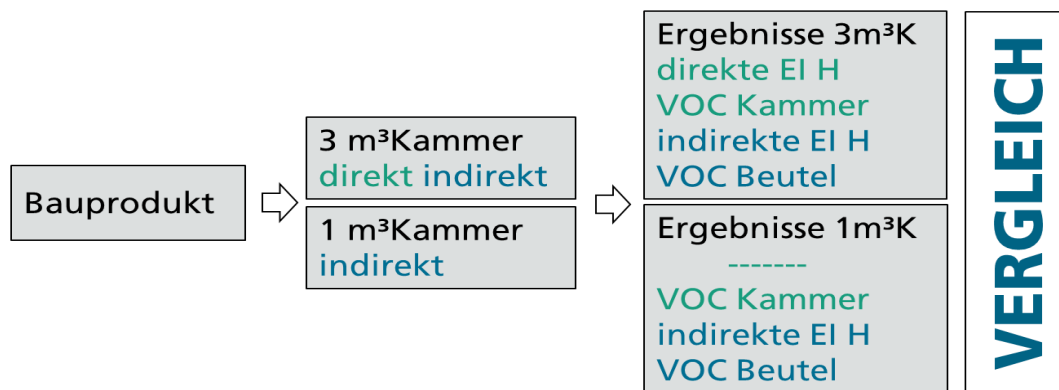


Abbildung 15: Emissionsprüfschema eines Bauprodukts.

Eine Beschreibung der direkten und indirekten Probenahme befindet sich in Abschnitt 5.3.2.2 Probendarbietung. Hauptaugenmerk bei diesem Arbeitsschritt war ein Vergleich der Ergebnisse der direkten Geruchsbewertung an einer Emissionsprüfkammer mit einer parallel stattfindenden indirekten Geruchsbewertung über Probenbeutel sowie der Vergleich der VOC-Konzentration in der Prüfkammer mit der Konzentration im Bewertungsbeutel. Abbildung 15 zeigt das Prüfschema mit den untersuchten Prüfparametern eines Bauprodukts, das zeitgleich in einer 1- und 3m³-Emissionskammer geprüft wurde.

5.4.1 Auswahl der Bauprodukte

Die Auswahl der Bauprodukte erfolgte mit den an diesem Projekt teilnehmenden Industrieverbänden. Das Produktspektrum umfasste sowohl flüssige und feste Produkte als auch »geruchlich« auffällige und unauffällige Materialien, so dass möglichst die gesamte Skala (15 pi) der empfundenen Intensität abgedeckt wurde. Um Bauprodukte untersuchen zu können, die geruchlich auffällig waren, mussten die Produkte extra mit geruchsrelevanten Komponenten dotiert werden. Die Untersuchungen erfolgten methodenorientiert, da bei diesem Projekt die Evaluierung der Methode der empfundenen Intensität unter Praxisbedingungen im Fokus lag und keine produktspezifischen Eigenschaften der hier untersuchten Bauprodukte von Relevanz waren. In Tabelle 4 sind die Bauproduktgruppen aufgeführt, die während der Projektlaufzeit untersucht wurden.

Tabelle 4: Auswahl der Bauproduktgruppen für die Emissionsuntersuchungen.

Bauprodukt	Holzwerk- stoffe	Dichtstoffe	Boden- beläge	Lacke	Bodenbe- lagskleber	Tapeten
fest/flüssig	Fest	flüssig	fest	Flüssig	flüssig	fest
Anzahl	2	2	2	2	2	2
Verband	VHI	DBC	FEB	VdL	IVK	VDT

5.4.2 Prüfparameter

Obwohl die Untersuchungen hauptsächlich methodenorientiert waren, lag ein weiterer Schwerpunkt in diesem Vorhaben auf einer praxisnahen Umsetzung der Geruchsuntersuchungen. Deshalb wurde die Probenvorbereitung (Auftragsmenge, Materialfläche) und die Prüfkammerparameter (Kammertyp, Beladung, Luftwechsel, flächenspezifische Luftdurchflussrate) der Emissionsuntersuchungen überwiegend gemäß DIBt-Zulassungsgrundsätzen durchgeführt. Falls keine DIBt-Vorgaben existierten, wurden die Untersuchungen entweder laut Herstellerangaben geprüft oder es wurden die Angaben gemäß der Vorschrift CEN TC 351 angewendet. In Tabelle 5 sind die Parameter der einzelnen Prüfkammeruntersuchungen aufgeführt. Die Bauprodukte werden im weiteren Berichtsverlauf nur noch mit BP1 bis BP12 bezeichnet.

Tabelle 5: Prüfparameter der einzelnen Bauproduktuntersuchungen.

Material	BP1	BP2	BP3
Kammertyp	3m ³ -Edelstahlkammer 1m ³ -Glaskammer	3m ³ -Edelstahlkammer 1m ³ -Glaskammer	3m ³ -Edelstahlkammer 1m ³ -Glaskammer
Beladung [m ² /m ³]	2	0,58	1,66
Luftwechsel [h ⁻¹]	0,72	0,72	0,83
q [m ³ /m ² h]	0,36	1,25	0,5
Bemerkungen	Herstellerangaben	DIBt-Vorgabe	DIBt-Vorgabe
Trichter	Trichter A/B	Trichter A/B	Trichter A/B
Material	BP9	BP10	BP8
Kammertyp	1m ³ -Glaskammer	1m ³ -Glaskammer	1m ³ -Glaskammer
Beladung [m ² /m ³]	0,05	0,4	227 cm/m ³
Luftwechsel [h ⁻¹]	0,5	0,5	1
q [m ³ /m ² h]	10	1,25	44
Bemerkungen	Herstellerangaben CEN TC 351 6,83 g/0,05 m ²	DIBt-Vorgabe 3d vorkonditioniert 134,4 g/0,4 m ²	Herstellerangaben DIN ISO 16000 - 9
Trichter	Trichter A	Trichter A	Trichter A
Material	BP4	BP11	BP5
Kammertyp	3m ³ -Edelstahlkammer 1m ³ -Glaskammer	1m ³ -Glaskammer	3m ³ -Edelstahlkammer 1m ³ -Glaskammer
Beladung [m ² /m ³]	0,58	227 cm/m ³	0,58
Luftwechsel [h ⁻¹]	0,72	1	0,72
q [m ³ /m ² h]	1,25	44	1,25
Bemerkungen	DIBt-Vorgabe	Herstellerangaben	Herstellerangaben
Trichter	Trichter A/B	Trichter B	Trichter B/B
Material	BP6	BP12	BP7
Kammertyp:	3m ³ -Edelstahlkammer 1m ³ -Glaskammer	1m ³ -Glaskammer	3m ³ -Edelstahlkammer 1m ³ -Glaskammer
Beladung [m ² /m ³]:	0,07	1	0,6
Luftwechsel [h ⁻¹]:	0,72	0,5	0,75
q [m ³ /m ² h]:	10	0,5	1,25
Bemerkungen:	Herstellerangaben 66 g/m ²	gemäß DIBt-Vorgabe	ohne Vorkonditionierung Laborprobe, die zusätzlich mit Komponenten dotiert wurde. 400 g/m ²
Trichter:	Trichter B/B	Trichter B	Trichter B/B

q: flächenspezifische Luftdurchflussrate

5.4.3 Geruchsemissionsbewertung von Bauprodukten

Die Geruchsemissionen der Bauprodukte wurden mittels der empfundenen Intensität, der hedonischen Wirkung und der Geruchsart ermittelt. Die Geruchsintensität, die hedonische Wirkung und die Geruchsart wurden bei jeder Prüfung nacheinander durchgeführt. Eine Beschreibung der Geruchsbewertungsmethoden befindet sich in dem Kapitel 5.3.6. Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass bei der Ergebnisdarstellung ein wesentlicher Aspekt die Methodenevaluierung war. Dennoch sind beispielhaft in Kapitel 6.1 die Ergebnisse eines Bauprodukts dargestellt. Weitere Ergebnisse sind unter den Punkten der direkten und indirekten Geruchsbewertung, der Geometrie der Bewertungstrichter sowie der Materialart der Probenbeutel zusammengefasst

5.4.4 Analytik der Luftprobenahme

Zu festgelegten Zeitpunkten wurden Luftproben aus der Emissionsprüfkammer entnommen und auf VOC/SVOC (gemäß AgBB) sowie die flüchtigen Aldehyde untersucht.

5.4.5 VOC-/SVOC-Analytik mittels TENAX-Probenahme und TD/GC/MS

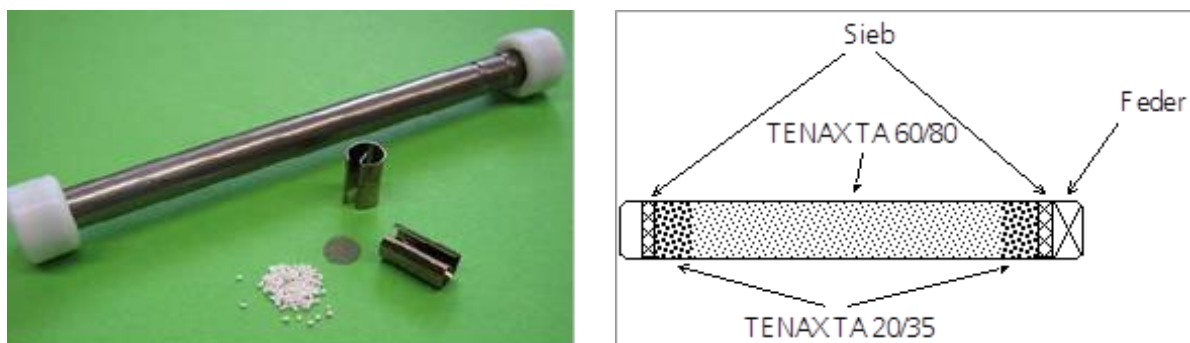


Abbildung 16: Sammelphase Tenax-Röhrchen, Foto (links), Prinzipskizze (rechts).

Die Probenahme zur Bestimmung von VOC/SVOC (gemäß AgBB-Schema) erfolgte mit Hilfe von Edelstahlröhrchen, die mit dem Adsorptionsmittel Tenax TA® (grob- und feinkörniges Tenax 20/35; 60/80; Füllmenge 300 mg) gefüllt waren, siehe Abbildung 16. Tenax (2,6-Diphenyl-p-phenylenoxid) ist ein thermisch stabiles Polymer. Während der Probenahme wurde ein definiertes Luftvolumen von 4 L bei einem Volumenstrom von 150 ml/min durch die Sammelphase geleitet. Bei dieser Untersuchung wurden FLEC-Air-Pumpen vom Typ 1001 der Fa. Chematec eingesetzt. Die Beprobung erfolgte jeweils als Doppelprobenahme. Die flüchtigen organischen Verbindungen in der Prüfkammeratmosphäre wurden an das Adsorptionsmittel gebunden und anschließend gemäß DIN ISO 16000-6 mittels Thermodesorption (TD) mit Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC/MS) für den Retentionsbereich C6 - C16 (VOC und TVOC) ausgewertet. Zusätzlich wurde bei dieser Auswertung auch der Retentionsbereich C16 - C22 (SVOC) ausgewertet.

Für die Analyse gemäß DIN ISO 16000-6 (2012) mittels TD/GC/MS kamen folgende Geräte und Einstellungen zum Einsatz:

Übersicht der eingesetzten Geräte zur VOC-/SVOC-Analytik und Einstellungen:

Thermodesorber:	Automatic Thermal Desorption System Typ TD 100; Markes
Gaschromatograph:	GC 7890A Series; Fa. Agilent
Säule:	DB-5 MS; Fa. Agilent
Länge:	60 m
Durchmesser (innen):	0,25 mm
Filmdicke:	0,25 µm
Eigenschaften:	unpolar
Trärgas:	Helium (5.0); Fa. Air Liquide
Temperaturprogramm:	32 - 300 °C
Detektor:	Mass Selective Detektor 5975 C, Fa. Agilent
Scanbereich:	35 - 500 amu

Die Identifizierung der Einzelstoffe erfolgte anhand der Massenspektren (eigene Datenbank, WILEY 9 und NIST 08) und Retentionszeitindizes. NIK-Stoffe wurden anhand von käuflichen Originalreferenzsubstanzen in bestmöglicher Reinheit quantifiziert. Nicht-NIK-Stoffe wurden anhand des Toluolresponse quantifiziert. Alle Kalibrierstandards wurden in methanolischer Lösung angesetzt und auf Tenax aufgespritzt. Die quantitativen Ergebnisse der TD/GC/MS-Auswertung wurden für jeden Einzelstoff in der Einheit µg/m³ als Konzentration in der Prüfkammer errechnet.

5.4.6 Carbonyl-Analytik mittels DNPH-Probenahme und HPLC

Die Bestimmung der flüchtigen Aldehyde (Formaldehyd, Acetaldehyd, Propanal, Butanal) in der Prüfkammer erfolgte gemäß DIN ISO 16000-3 (2013). Dabei wurden Kartuschen verwendet, die ein mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin (DNPH) beschichtetes Sorbens enthalten. In der Luft enthaltene flüchtige Aldehyde bilden mit dem DNPH einen festen, UV-adsorbierenden Komplex (Hydrazon). Die Luftprobenahme aus der Kammer erfolgte so, dass ein definiertes Probenvolumen über das DNPH-Sorbens geleitet wurde. Das Probenahmenvolumen betrug 100-120 l. Im Anschluss an die Probenahme wurde die DNPH-Kartusche mit Acetonitril/Wasser 60/40 Vol-% eluiert. Das Eluat wurde anschließend mittels HPLC/UV-Detektor ausgewertet.

Bestimmung von Carbonylverbindungen gemäß DIN ISO 16000-3 mittels HPLC/UV:

HPLC-System:	Agilent 1100 Series HPLC
Detektor:	Agilent 1100 VWD
Säule:	Phenomenex Luna C18(2)
Länge:	250 mm
Durchmesser:	3 mm
Flussrate:	0,55 ml/min
Injektionsvolumen:	20 µl
Gradient:	ACN/H ₂ O/THF
Ofentemperatur:	40 °C

5.5 Prüfung der Rahmenparameter der Methode der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28

Ein weiterer Schwerpunkt dieses Forschungsvorhabens war die Prüfung von Rahmenparametern bzw. Prüfparameter der Methode der empfundenen Intensität. Dies gilt insbesondere, da es sich bei dem in der DIN ISO 16000-28 standardisierten Verfahren der empfundenen Intensität um eine neuere Entwicklung handelt, für die, anders als bei anderen Prüfverfahren, nur wenige Daten zu Verfahrenskenngrößen existieren. Diese Daten sind zudem mit wenigen Vergleichsmaßstäben, einem Beutelmateriale und einem Probenahmegerät gewonnen worden, wobei zum Teil Kammern zum Einsatz kamen, die den Anforderungen der DIN ISO 16000-9 (2008) nicht genügen. Die folgenden Kapitel beschreiben die Prüfung der Verfahrensvarianten und Anforderungen die gemäß DIN ISO 16000-28 zulässig bzw. einzuhalten sind.

5.5.1 Bestimmung der Hintergrundintensität des Geruchsbewertungsequipments

Störgerüche des Geruchsbewertungsequipments bzw. der Prüfraumlufte können Geruchsprüfungen erheblich beeinflussen. Beispielsweise können zusätzliche Geruchsbeeinträchtigungen der Prüfraumlufte dazu führen, dass die Geruchswahrnehmung der Probanden durch Adaptionseffekte beeinträchtigt wird. Um diese Effekte bei der Geruchsbewertung auszuschließen bzw. soweit wie möglich zu minimieren, sollte der Hintergrundgeruch des Geruchsbewertungsequipments bzw. des Prüfraums bekannt sein.

Laut Norm muss der Hintergrundgeruch der Emissionsprüfkammern und der Probenbehälter unter ≤ 3 pi liegen. Die Geruchsintensität des Prüfraums soll laut Vorschrift ≤ 4 pi sein.

Um zu ermitteln, ob das am WKI benutzte Geruchsbewertungsequipment den Anforderungen der Norm entspricht, wurde die empfundene Intensität einiger Prüfkammern, der Beutel sowie die Neutrallufte am Vergleichsmaßstab bestimmt. Der Hintergrundgeruch des Prüflabors wird arbeitstäglich durch die Testpersonen vor jeder Geruchsprüfung bewertet. Die Messergebnisse der Blindwertbestimmungen sind in Kapitel 6.3 (Prüfkammer, Beutel, Prüflabor) und 6.12 (Vergleichsmaßstab) aufgeführt.

5.5.2 Vergleich von Beutel- und Kammerluftproben

Da in der Praxis der überwiegende Teil der Emissionsprüfungen, und somit auch der Geruchsprüfungen, in Kammern $\leq 3\text{m}^3$ stattfinden, werden Geruchsbewertungen von Bauprodukten hauptsächlich über den Umweg mittels Probenbeutel durchgeführt. Deshalb ist die Absicherung dieser Verfahrensvariante, der indirekten Intensitätsbestimmung von Produkten, von besonderer Bedeutung, um verlässliche Messdaten zu erzeugen.

Laut DIN ISO 16000-28 darf durch den Probenbehälter bzw. Probenbeutel keine Änderung des beprobten Geruchsstoffes bis zu einer Lagerzeit von 6h verursacht werden. Weiterhin soll laut dem Standard der Behälter bzw. das Material des Behälters (Beutel) luftdicht, geruchslos, undurchlässig und nicht-adsorbtiv sein. Zudem sollen die Probenbeutel nach der Probenahme bei einer Temperatur gleich der Prüftemperatur lagern.

Einige dieser Anforderungen für Probenbehälter sollten mit der Bestimmung des VOC-Gehalts der Beutellufte, wie in den folgenden beiden Abschnitten beschrieben, überprüft werden. Einerseits wurde hier Probenluft in Beuteln auf deren VOC-Gehalt vor und nach einer Geruchsprüfung untersucht, andererseits, wurde die VOC-

Konzentration der Beutelluft über einen definierten Zeitraum bestimmt. Alle Daten wurden mit der dazugehörigen Kammerkonzentration verglichen.

Ein weiterer Grund für die Untersuchung der Beutelluft war die Diskrepanz der Ergebnisse der direkten und indirekten Geruchsbewertung der ersten Bauproduktprüfungen in diesem Projekt. Bereits bei den ersten Emissionsuntersuchungen wurde festgestellt, dass die Intensitäten der Kammerluft (direkte Bewertung) immer höher lagen als die Intensitäten mit der parallel stattfindenden Bewertung der Beutelluft (indirekte Bewertung).

5.5.2.1 Bauprodukte

Um die VOC-Konzentration der Probenluft im Beutel zu ermitteln, wurden bei einer Vielzahl von Bauproduktuntersuchungen die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) vor und nach einer Geruchsbewertung mittels TENAX TA gesammelt und mit anschließender GC/MS nachgewiesen. Die Konzentrationen der VOC-Untersuchung sowie die Ergebnisse der empfundenen Intensität der Beutelluft wurden mit den dazugehörigen Kammerluftwerten am jeweiligen Bewertungstag verglichen.

Um das Verhalten der VOC-Konzentration der Beutelluft über die Zeit zu ermitteln, wurde Kammerluft 3 mal in Probenbeutel gefüllt und nach verschiedenen Zeiten Luftproben auf TENAX TA aus dem Probenbeutel gesammelt.

Die Ergebnisse beider Versuche sind in Kapitel 6.2.1 dargestellt.

5.5.2.2 Einfluss des Beutelmaterials auf die Probenluft

Aufgrund der gesammelten Daten aus den Bauproduktuntersuchungen der Beutelluftproben aus vorangegangenem Kapitel (Kapitel 5.5.2.1), wurden Dotierexperimente in Prüfkammern mit einer Auswahl an VOC durchgeführt.

Ziel dieser Versuche war, die möglichen Effekte der Minderbefunde in der Beutelluft definierter zu ermitteln.

Mögliche Ursachen für die Minderbefunde sind im Folgenden aufgelistet:

- Wandeffekte von bestimmten Substanzgruppen
- Permeabilität der Beutel

Auch hier wurde die Beutelluftkonzentration über einen bestimmten Zeitraum analysiert und mit denen der Kammerluft verglichen.

Um den Einfluss des Beutelmaterials auf die Probenluft zu ermitteln, wurden Dotierexperimente mit einer Auswahl an VOC durchgeführt. Dieses VOC Gemisch (Hexanal, trans-2-Hexenal, Pentansäure, alpha-Pinen, Ethylhexylacrylat und Diethylenglykoldiacetat) wurde in eine 1m³-Prüfkammer unter statischen Bedingungen (LW = 0) injiziert. Die Auswahl der Substanzen für das Gemisch erfolgte aufgrund vorangegangener Beutelluftuntersuchungen, die bei den Bauproduktprüfungen parallel durchgeführt wurden (siehe Kapitel 5.5.2.1). Hier wurden Verbindungen aus Substanzgruppen ausgewählt, bei denen sich zum einen die Konzentration im Beutel maßgeblich verringert hat (Carbonsäuren, ungesättigte Aldehyde, Glykoletheracetate) und zum

anderen die Konzentration im Beutel nahezu keine Änderung aufzeigte (einige Monoterpene, gesättigte Aldehyde). Zudem sollten die Substanzen einen geruchsrelevanten Charakter besitzen um einen möglichst praxisnahen Bezug zur Geruchsthematik beizubehalten. Nach einer definierten Zeit wurde die Kammerluft in Nalophan- und Tedlar-Beutel gefüllt. Direkt nach dem Befüllen der Beutel wurde die VOC- Kammerkonzentration (einmalig direkt nach dem Befüllen der Probenbeutel) und die Beutelluftkonzentration beider Probenbeutel (Tedlar, Nalophan) über 24 Stunden bestimmt. Nach 24 Stunden wurden die Probenbeutel dreimal mit gereinigter Luft befüllt und wieder entleert. Nach dem Spülen wurden die mit gereinigter Luft gefüllten Probenbehälter jeweils in eine 1m³-Prüfkammer eingebracht. Über einen Zeitraum von ungefähr 1 Stunde wurde die VOC-Konzentration der Beutelluft bei einer anfänglichen Kammertemperatur von 23 °C bestimmt, um dem im Beutel verbleibenden VOC-Gehalt - trotz Spülens - zu bestimmen. Nach ca. 60 min wurde die Kammertemperatur von 23 °C auf 60 °C erhöht. Über einen Untersuchungszeitraum von ca. 24 Stunden wurden zu definierten Zeiten die VOC-Beutelkonzentration bei 60 °C ermittelt. Die Untersuchungsergebnisse der mit Kammerluft gefüllten Probenbeutel und der mit gereinigter Pressluft beaufschlagten Nalophan- und Tedlarbeutel bei 60 °C sind in Kapitel 6.2.2 dargestellt.

5.5.3 Geruchsbewertung mit verschiedenen Darbietungsmethoden

Weitere Verfahrensvarianten, die die DIN ISO 16000-28 zulässt, sind die unterschiedlichen Materialien, aus denen die Probenbeutel zur Geruchsbewertung hergestellt werden können, sowie die verschiedenen Trichterformen, die für Geruchsbewertungen eingesetzt werden dürfen. Die Untersuchungen beider Bewertungsvarianten sind in den folgenden Kapiteln beschrieben.

5.5.3.1 Indirekte Intensitätsbewertung mit Probenbeuteln aus Nalophan und Tedlar

Gemäß der Prüfnorm dürfen Probenbeutel für die Geruchsbewertung aus folgenden Materialien hergestellt werden:

- Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer (FEP)
- Polyvinylfluorid (PVF, Tedlar®1)) und
- Polyethylenterephthalat (PET, Nalophan NA®2)).

In diesem Forschungsvorhaben wurden die Untersuchungen größtenteils mit Beuteln aus dem Material Nalophan durchgeführt. Um jedoch zu ermitteln, ob Unterschiede hinsichtlich der empfundenen Intensität je nach Wahl des Beutelmaterials auftreten, wurden einige Produktbewertungen parallel mit Beuteln aus Nalophan und Tedlar durchgeführt. Geruchsbewertungen mit Beuteln aus FEP waren nicht Gegenstand dieser Prüfungen. Die Probenahmen und die Geruchsbewertungen erfolgten so, dass möglichst wenig Zeit, maximal 1,5 Stunden, zwischen der Probenahme und der Geruchsbewertung lagen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Kapitel 6.4 aufgeführt.

5.5.3.2 Bestimmung der empfundenen Intensität mit unterschiedlichen Bewertungstrichtern



Abbildung 17: Kleiner Bewertungstrichter (Trichter A).

Ein weiterer wichtiger Punkt, um verlässliche und vergleichbare Ergebnisse bei Geruchsbewertungen zu produzieren, ist die Geometrie der Bewertungstrichter. In der DIN ISO 16000-28 wird lediglich auf das Material und auf den maximalen Öffnungswinkel von 12° eines Bewertungstrichters eingegangen. Welchen Einfluss die Trichterlänge, der Durchmesser am Einlass und Auslass des Trichters sowie die Größe des Öffnungswinkel auf die Bewertung haben, wurde anhand von zwei unterschiedlichen Darbietungstrichtern unter diesem Arbeitspunkt ermittelt.

Für die Bewertung der Bauprodukte kamen zwei Darbietungstrichter (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18) zum Einsatz. In ihrer Konstruktion unterschieden sich die Trichter im Hinblick auf die Trichterlänge, dem Öffnungswinkel und dem Durchmesser am Einlass und Auslass des Trichters. In Tabelle 6 sind die geometrischen Daten beider Trichterarten aufgeführt.

Die ersten sieben Produktuntersuchungen wurden bei der indirekten Bewertung (Beutelluft) mit Trichter A durchgeführt.



Abbildung 18: Großer Bewertungstrichter (Trichter B).

Wohingegen bei vergleichenden Messungen (direkte/indirekte Bewertung) in einer 3m^3 -Prüfkammer, die direkte Bewertung an der Emissionsprüfkammer immer mit Trichter B durchgeführt wurde.

Weitere fünf Produktuntersuchungen erfolgten sowohl bei der direkten als auch indirekten Geruchsprüfung mit Trichter B.

Welche Bauprodukte mit Trichter A oder B (indirekte Intensitätsbestimmung) bewertet wurden, sind im Folgenden aufgeführt:

- Trichter A: BP1, BP2, BP3, BP4, BP8, BP9, BP10.
- Trichter B: BP5, BP6, BP7, BP11, BP12.

Zudem wurden auch Untersuchungen durchgeführt, bei denen Beutelluftproben derselben Probe mit Trichter A und B während einer Geruchsmessung bewertet wurden (siehe Kapitel 6.5).

Tabelle 6: Abmaße der im Forschungsvorhaben verwendeten Darbietungstrichter.

	Gesamtlänge	Länge Kegel	Öffnungs-	Ø Einlass	Ø Auslass [mm]
Trichter A	220	100	12	7	60
Trichter B	310	270	6	20	80

5.5.4 Strömungsverhältnisse in verschiedenen Bewertungstrichtern

Zusätzlich zur Bestimmung der empfundenen Intensität mit unterschiedlichen Bewertungstrichtern, wurde das Strömungsverhalten der unterschiedlichen Trichter ermittelt. Die Trichtersimulationen wurden im Zuge der am WKI angefertigten Dissertation von Jennifer Bartsch (2016) durchgeführt. Für die Strömungsberechnungen nach der Durchströmung des statischen Mischers wurde von einer »mittleren« Turbulenz, in einer Berechnung auch von einer »starken« Turbulenz ausgegangen, da die meisten Rohrströmungen turbulent sind (Lecheler 2014). Die Berechnungen des Strömungsverhaltens durch den Trichter bzw. der Rohrerweiterung erfolgten u.a. aufgrund des geringeren Rechenaufwandes stationär. Die stationäre Strömung ist zeitunabhängig (Geschwindigkeit c , der Druck p , die Dichte ρ und die Zähigkeit η). Es wurde die CFD-Software ANSYS CFX verwendet. Die CAD-Modelle wurden mit dem Programm Catia erstellt.

Es wurden Strömungen durch verschiedene Trichter simuliert. Außerdem erfolgten Strömungsberechnungen mit Blenden (Blendenweite 10 mm, 15 mm; Blendendicke: 1,5 mm) vor dem Trichter. Da in der Realität an dem Trichter gerochen werden soll und somit mit dem Kopf und der Nase über die Öffnung gegangen wird, sollte auch das Strömungsverhalten »mit Kopf« betrachtet werden. Der Abstand der »Nase« bis zum Trichterrand wurde auf wenige Zentimeter (»Stirn« bis Trichterrand: 20 cm) festgelegt. Für die Erzeugung der Geometrie »mit Kopf« vor dem Trichter, wurde ein weiteres großes Volumenelement vor bzw. um den Trichter gelegt, in welches das Luftgemisch hinein strömt. Der Kopf wurde als Hindernis aus dem Volumenelement geschnitten.

Im Folgenden sind die Rechenparameter und physikalische Randbedingungen definiert. Für die Zuströmung wurde der untere Rand als »Inlet« und die Rohrvergrößerung als »Opening« mit einem absoluten Druck von 1 bar gewählt, wobei Druckschwankungen am Austrittsrand erlaubt waren (Umgebungsbedingung: »Fernfeld«). Die Massenflussvorgabe erfolgte am Zuströmrand. Für den Festkörperwand (»Wall«) wurde eine viskose Wand (glatt, mit Reibung) gewählt. Die Temperatur des Fluids wurde auf 20 °C festgelegt. Als Turbulenzmodell wurde das Menter SST (»Shear Stress Transport«)-Modell verwendet, da dieses Modell auch die Grenzschichtströmung in Wandnähe gut wiedergibt (Lecheler 2014).

5.5.5 Bewertung von Acetonproben

Unter diesem Arbeitspunkt wurden Acetonproben unter verschiedenen Darbietungsbedingungen bewertet. Beispielsweise sollte hier der Einfluss der rel. Luftfeuchtigkeit von Geruchsproben auf das Bewertungsergebnis ermittelt werden, da generell bei humansensorsichen Geruchsbewertungsverfahren eine ausreichende Befuchtung der Nasenschleimhäute gewährleistet sein muss. Dies ist ein wichtiger Aspekt der Geruchswahrnehmung, damit die Geruchskomponenten die Schleimhaut ungehindert durchdringen können. Allerdings darf die Feuchte der zu bewertenden Luft weder zu hoch noch zu niedrig sein, da sonst die Flüchtigkeit der Geruchssubstanzen eingeschränkt wird (siehe auch Kapitel 4.2 Geruchssubstanzen). Daraus folgend ist anzunehmen, dass die Bewertung einer Geruchsprobe feuchteabhängig ist. In der DIN ISO 16000-28 wird allerdings einzig auf die klimatischen Bedingungen der Raumluft, in dem die Bewertung der Geruchsproben stattfindet, eingegangen. Die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit des Luftstroms am VM hingegen sind nicht definiert.

Um zu ermitteln, ob die Feuchte einer Geruchsprobe Einfluss auf das Bewertungsergebnis hat, wurden Acetonproben mit trockener und feuchter Luft in Nalophan-Beuteln hergestellt und zeitgleich bewertet. Zwei Bewertungen wurden mit Beuteln aus Tedlar durchgeführt. Zudem wurde die Temperatur und Feuchte der zu untersuchenden Proben während der Prüfung bestimmt. Soweit möglich wurde die Acetonkonzentration vor und nach der Geruchsbewertung ermittelt.



Abbildung 19: Kommerzieller Vergleichsmaßstab.

Da in der DIN ISO 16000-28 nur grobe Vorgaben für die Konstruktion und Arbeitsweise eines Vergleichsmaßstabs (VM) beschrieben werden, sollte unter diesem Arbeitspunkt der Vergleich von zwei, in ihrer Bauart unterschiedlichen, VM durchgeführt werden. Die Versuche wurde mit dem WKI-Eigenbau-VM (siehe Kapitel 5.3.1.1) und einem kommerziellen VM (Abbildung 19) durchgeführt. Die Probanden bekamen den kommerziellen VM als Probe angeboten. Der WKI-VM diente dabei als Vergleichselement. Die wesentlichen Unterschiede der VM sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Der »Vergleich der VM« konnte nur bedingt evaluiert werden, da das kommerzielle Gerät einen starken Eigengeruch hatte.

Auch die Versuche, den Einfluss von feuchter und trockener Acetonluft auf die Geruchswahrnehmung zu ermitteln, konnten nicht durchgeführt werden, da die Acetonproben mit trockener Luft bereits nach kurzer Zeit einen Feuchteanstieg verzeichneten. Nach ungefähr 60 min lagen die Feuchtwerte bereits bei 30 - 50 %. Somit konnten keine Aussagen im Hinblick auf die Geruchswahrnehmung von feuchter und trockener Luft getroffen werden. Dennoch wurden die Untersuchungen durchgeführt und die Ergebnisse in Kapitel 6.6 dargestellt.

Zudem wurden aufgrund der gewonnenen Erkenntnis, dass die Probenbeutel über die Zeit Feuchtigkeit aufnehmen, zum einen die Wasserdampfdurchlässigkeit von Nalophan und Tedlar bestimmt (siehe Kapitel 5.5.6) und zum anderen die rel. Luftfeuchtigkeit von Luft in Nalophan- und Tedlar-Beutel über die Zeit ermittelt (siehe Kapitel 5.5.7).

Tabelle 7: Wesentliche Unterschiede des WKI-VM zu einem kommerziellen VM.

	Befeuchtung	Temperatur	Acetonquelle	Volumenstrom	Trichter
WKI VM	50 %	23 °C	flüssig	0,9 l/s	2
Kommerzieller VM	Keine	ungeregelte Heizung	gasförmig	0,6 l/s	1

5.5.6 Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Nalophan und Tedlar.

Aufgrund des Feuchteanstiegs der Beutelluft, wie im vorherigen Kapitel 5.5.5 beschrieben, wurde die Wasserdampfdurchlässigkeit von Nalophan und Tedlar in Anlehnung an DIN EN ISO 12572:2001 bestimmt.

Es wurden von jeder Probe ($\varnothing$ 90 mm) 5 Prüfkörper in Richtung des Dampfstroms dampfdicht in Gefäße eingebracht. Die Gefäße wurden mit einem Trocknungsmittel ausgestattet, so dass sich eine Innenfeuchte von 2 % einstellte (Trockenbereichsverfahren). Alle Gefäße wurden unter konstanten Randbedingungen in einem Klimaschrank unter 23 °C/50 % r.F. für die gesamte Prüfdauer aufgestellt und in 24-stündigen Zeitintervallen zur Ermittlung der durch die Proben diffundierten Wassermasse gewogen.

Die Wägungen wurden so lange fortgeführt, bis die Massenänderung je Zeiteinheit im Rahmen der Messunsicherheit keinen Änderungen mehr unterlag. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Kapitel 6.9.

5.5.7 Bestimmung der rel. Luftfeuchte in Nalophan- und Tedlar-Beuteln

Zusätzlich zur Untersuchung der Wasserdampfdurchlässigkeit (siehe Kapitel 5.5.6) wurde die rel. Luftfeuchte von mit trockener Luft befüllten Probenahmebeuteln bestimmt. Die Probenbeutel für die Versuche waren aus Tedlar, Nalophan und doppelt Nalophan (Nalophan-Beutel in zweitem Nalophanbeutel). Nach dem Befüllen wurden die Beutel bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchtigkeit über einen definierten Zeitraum gelagert. Während der gesamten Versuchsdauer wurden die Temperatur und die rel. Luftfeuchte im Beutel mittels eines ROTRONIC Datenloggers ermittelt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Kapitel 6.8 aufgeführt.

6 Auswertung/Ergebnisse

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die Methode der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28 auf deren Eignung in der Praxis zu prüfen und Prüfparameter bzw. Rahmenparameter der Methode zu konkretisieren. Die Möglichkeiten und Grenzen der Methode sollen deutlich gemacht werden, insbesondere ihre Eignung, verlässliche und reproduzierbare Produktbewertungen zu erlauben.

Ein besonderer Schwerpunkt war die Ermittlung von Verfahrenskennwerten, die Rückschlüsse auf eine Anwendbarkeit zur sicheren Bewertung von Bauprodukten zulassen. Demnach ist das Projekt, und daraus folgend die Ergebnisdarstellung, vornehmlich methodenorientiert ausgerichtet, wie beispielsweise der Vergleich der direkten und indirekten Bewertung, die Lagerstabilität der Beutelproben sowie die Verwendung von unterschiedlichen Trichterformen und Beutelmaterialien.

6.1 Emissionskammerprüfungen gemäß AgBB-Schema

Da dieses Forschungsvorhaben nicht produktorientiert ausgerichtet war, werden im folgenden Kapitel beispielhaft die Ergebnisse von nur einer Bauproduktprüfung gemäß AgBB-Vorgaben aufgeführt. Alle weiteren Ergebnisbetrachtungen erfolgen in gesonderten Kapiteln unter dem Gesichtspunkt der Methoden-evaluierung.

6.1.1 Chemisch-sensorische Ergebnisse eines Bauprodukts

Das hier untersuchte Bauprodukt war ein nicht kommerziell erhältlicher Bodenbelagsklebstoff. Die Probe wurde vom Hersteller extra für diese Art von Untersuchungen mit Geruchskomponenten dotiert. Die Proben-vorbereitung sowie die Prüfparameter erfolgten gemäß DIBt-Vorgaben. Das Produkt wurde auf Glas aufgetragen und direkt nach dem Applizieren in eine 1- und 3m³-Prüfkammer eingebracht.

Die Bestimmung der chemisch-sensorischen Emissionen erfolgte nach 3d, 7d, 14d und 28d parallel an beiden Prüfkammern. Die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) wurden gemäß AgBB-Schema ausgewertet.

An der 1m³-Prüfkammer erfolgte die Geruchsbewertung indirekt über Beutel. An der 3m³-Prüfkammer hingegen wurden direkte und indirekte Geruchsbewertungen zu jedem Probenahmezeitpunkt durchgeführt.

Weiterhin wurde die VOC-Konzentration der Beutelluft vor und nach der Geruchsbewertung ermittelt. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Kapitel 6.2 aufgeführt. Die Prüfparameter der folgenden Emissionsprüfung sind in Kapitel 5.4.2 aufgeführt.

3m³-Prüfkammeruntersuchung

Ergebnisse der chemischen Prüfung – 3m³-Kammer

In Tabelle 8 und Tabelle 9 sind die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen aufgelistet. Abbildung 20 zeigt die Auswertung des BP7 gemäß AgBB-Schema.

Tabelle 8: VOC-Ergebnisse BP7 – 3m³-Kammer.

RT	CAS-Nr.	Substanz	Konzentration in µg/m ³ nach			
			3d	7d	14d	28d
5.06	000064-17-5	Ethanol	24	3	6	5
5.35	000067-64-1	Aceton	29	15	21	12
5.39	000067-63-0	2-Propanol	12	6	3	3
9.44	000071-36-3	n-Butanol	15	7	5	5
12.85	000064-19-7	Essigsäure	902	393	135	<1
17.16	000066-25-1	n-Hexanal	5	3	1	1
18.15	000057-55-6	1,2-Propandiol	118	1	<1	<1
19.83	000067-68-5	Dimethylsulfoxid (Toluen)	2646	1229	412	87
22.01	000100-42-5	Styrol	2	<1	<1	<1
22.70	000111-76-2	Butylglykol	6	3	1	1
23.18	000067-71-0	Dimethylsulfon (Toluen)	9	7	3	1
24.03	000080-56-8	alpha-Pinen	38	13	4	3
25.35	000100-52-7	Benzaldehyd	2	1	1	1
26.05	018172-67-3	beta-Pinen	3	1	<1	<1
27.20	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	4	1	<1	<1
27.31	000498-15-7	3-Caren	4	1	1	1
27.63	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	3	1	<1	<1
27.95	000099-87-6	p-Cymen	7	1	<1	<1
28.13	005989-27-5	Limonen	21	4	3	1
28.24	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	3	1	1	<1
28.35	000100-51-6	Benzylalkohol	3	1	1	1
30.54	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	2	1	<1	<1
31.08	999062-14-2	Diethylenglykol-monoacetat (Toluen)	4	5	4	2
31.68	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	16	7	4	1
32.27	000103-09-3	2-Ethylhexylacetat	6	2	<1	<1
32.73	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	119	52	19	5
33.28	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	5	3	3	<1
33.59	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	17	7	6	6
33.71	002682-20-4	2-Methyl-4-isothiazolin-3-on	11	8	5	3
33.91	000112-34-5	Butyldiglykol	1606	1220	703	278
34.22	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	149	72	28	8
34.62	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	3	2	1	<1
34.94	026172-55-4	5-Chlor-2-methyl-4-isothiazolin-3-on	8	5	2	<1
36.17	000628-68-2	Diethylenglykoldiacetat (Toluen)	55	48	32	18
36.36	035836-73-8	Nopol (Toluen)	39	24	12	5
37.27	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	5	3	2	1
37.99	000124-17-4	Butyldiglykolacetat	5852	5258	3759	2409
38.51	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	28	14	14	10

38.99	000112-73-2	Dibutyldiglykol (Toluen)	86	62	39	19
39.14	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	17	11	7	4
42.08	003075-84-1	2,2,5,5-Tetramethylbiphenyl (Toluen)	20	19	17	17
42.22		Methylphenylindan (Toluen)	14	16	14	14
42.38		Methylphenylindan (Toluen)	15	16	14	14
42.48		Methylbenzylphenol (Toluen)	25	25	35	40
43.17		Methylbenzylphenol (Toluen)	10	10	14	17
Summe VVOC (< C6):			65	24	30	20
Summe aller gemessenen Komponenten als TVOC * Originalresponse Wert:			11819	8472	5208	2871
Summe aller gemessenen Komponenten als TVOC Toluen Wert:			9997	7288	4503	2388
Summe SVOC (> C16):			84	86	94	102

(Die tiefgestellt angegebenen Fragmente/Substanzen wurden als Referenz für die Quantifizierung verwendet)

Tabelle 9: Ergebnisse der leichtflüchtigen Aldehyde BP7.

CAS-No.	Substanz	Konzentration in µg/m³ nach				Bestimmungsgrenze [µg/m³]
		3d	7d	14d	28d	
50-00-0	Formaldehyd	20	8	7	7	2
75-07-0	Acetaldehyd	4	< 3	< 3	< 3	3
123-38-6	Propanal	< 3	< 3	< 3	< 3	3
123-72-8	Butanal	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4

Probenbezeichnung Name of the sample	A11979/P41188 (3m³-Kammer)			Wichtige Informationen (important information)		Tabellenblätter schützen protect worksheets		
Aktenzeichen beim DIBt File number of DIBt								
Prüfinstitut Testing laboratory	Fraunhofer Institut für Holzforschung					Blattschutz aufheben unprotect worksheets		
Ergebnisüberblick General view of the results ADAM_2012_08_3	3 Tage (days)			7 Tage (days)		28 Tage (days)		
	Ergebnisse results	AgBB Anforderungen requirements	Abbruchkriterien break-off criteria	Ergebnisse results	Abbruchkriterien break-off criteria	Ergebnisse results	AgBB Anforderungen requirements	
	µg/m³	mg/m³	mg/m³	µg/m³	mg/m³	µg/m³	mg/m³	
	[A] TVOC (C ₆ - C ₁₆)	11786	12 !! ≤ 10 mg/m³	11,8 !! ≤ 0,3 mg/m³	8442	8,4 !! ≤ 0,5 mg/m³	2850	2,9 !! ≤ 1,0 mg/m³
	[B] Σ SVOC (C ₁₆ - C ₂₂)	84	keine none	0,08 !! ≤ 0,03 mg/m³	86	0,09 !! ≤ 0,05 mg/m³	102	0,1 ≤ 0,1 mg/m³
	[C] R (dimensionslos/dimensionless)	18,474	keine none	18,5 !! ≤ 0,5	13,521	13,5 !! ≤ 0,5	3,270	3 !! ≤ 1
	[D] Σ VOC o. NIK without LCI	2835	keine none	2,84 !! ≤ 0,05 mg/m³	1375	1,38 !! ≤ 0,05 mg/m³	129	0,1 ≤ 0,1 mg/m³
	[E] Σ Cancerogene	0	0,00 ≤ 0,01 mg/m³	0,000 ≤ 0,001 mg/m³	0	0,000 ≤ 0,001 mg/m³	0	0,000 ≤ 0,001 mg/m³

Abbildung 20: AgBB-Auswertung BP7 – 3m³-Kammerprüfung.

Ergebnisse der sensorischen Untersuchung – 3m³-Prüfkammer

Tabelle 10 zeigt eine detaillierte Auswertung einer Geruchsprüfung an einer 3m³-Prüfkammer nach 3d. Die Geruchsbewertung der Probe erfolgte sowohl direkt an der 3m³-Prüfkammer als auch indirekt über Probenbeutel. Die aufgeführten Daten beinhalten nur die Probandenantworten, die die Acetonleistungsprüfung (siehe Kapitel 5.3.6.1) bestanden haben (korrigierte Werte). Die indirekte und direkte Geruchsbewertung der Bauproduktprobe erfolgte mit Trichtern der gleichen Geometrie (Trichter B) wie in Kapitel 5.5.3.2 beschrieben. Weitere Intensitätsbewertungen einiger Bauprodukte, die mit unterschiedlichen Bewertungstrichtern durchgeführt wurden, sind in Kapitel 6.5 dargestellt.

Tabelle 10: Korrigierte Ergebnisse des BP7 in einer 3m³-Prüfkammer nach 3d.

Proband	3d indirekt			3d direkt		
	I	H	Geruchsart	I	H	Geruchsart
Proband 1	9	-2	Holz/Leder	11	-2	Holz/Leder
Proband 2	7	-3	stechend	9	-3	stechend
Proband 3	4	-2	würzig	7	-2	würzig
Proband 4	4	-2		6	-2	
Proband 5	5	-1		6	-2	
Proband 6	8	-3	Campher o. Eukalyptus	11	-3	Campher o. Eukalyptus
Proband 7	7	0	Eukalyptus, ätherische Öle	8	0	Eukalyptus, ätherische Öle
Proband 8	4	-2		11	-3	
Proband 9	4	-2	würzig, Eukalyptus	8	-2	würzig, Eukalyptus, Thymian
Proband 10	5	-1	Eukalyptus	4	-2	stechend
Proband 11	5	-2	Holz, Erde, Rauch	6	-2	Holz, Erde, Rauch
Mittelwert	5,6	-1,8		7,9	-2,1	
Stdabw	1,8	0,9		2,4	0,8	
VB90%	1,0	0,5		1,3	0,5	

I: empfundene Intensität, H: Hedonik

Gemäß DIN ISO 16000-28 dürfen nur Probanden an einer Geruchsbewertung teilnehmen, wenn diese die arbeitstäglche Leistungsprüfung von zwei unbekannten Acetonproben bestanden haben (siehe Kapitel 5.3.6.1). Im Rahmen dieses Projekts durften die Testpersonen auch bei nicht bestandener Leistungsprüfung an der Probenbewertung teilnehmen. Somit wurden zwei Datensätze für jede Geruchsbewertung ermittelt (Rohdaten/korrigierte Daten). Ob der Ausschluss eines Probanden bei nicht bestandener Aceton-Leistungsprüfung das Endergebnis einer Geruchsbewertung signifikant beeinflusst, wird in Kapitel 6.10 diskutiert. Eine

Zusammenfassung der Rohdaten und der korrigierten Daten über die gesamte Prüfdauer des Bauprodukts 7 (BP7) findet sich in Tabelle 11 und Tabelle 12. Weitere Daten im Hinblick auf die Direktbewertung an einer Emissionsprüfkammer im Vergleich zur indirekten Probenbewertung über Probenbeutel sind in Kapitel 6.2 aufgeführt. Auf die Unterschiede zwischen dem VOC-Gehalt in einer Prüfkammer und dem VOC-Gehalt in Probenahmebeuteln wird in Kapitel 6.2 eingegangen.

Tabelle 11: Rohdaten der empfundenen Intensität und der hedonischen Wirkung in einer 3m³-Prüfkammer des BP7 (direkt und indirekt).

	3d indirekt		3d direkt		7d indirekt		7d direkt	
	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik
Mittelwert	5,6	-1,8	7,9	-2,1	6,0	-1,0	8,6	-1,1
Stdabw	1,8	0,9	2,4	0,8	3,0	1,1	2,5	1,6
VB90%	1,0	0,5	1,3	0,5	1,5	0,6	1,3	0,8
	14d indirekt		14d direkt		28d indirekt		28d direkt	
	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik
Mittelwert	4,5	-0,9	8,7	-1,5	5,4	-1,0	8,8	-1,7
Stdabw	2,3	1,0	3,3	1,6	2,8	1,0	4,2	1,6
VB90%	1,1	0,4	1,5	0,7	1,8	0,6	2,6	1,0

Tabelle 12: Korrigierte Daten der empfundenen Intensität und der hedonischen Wirkung in einer 3m³-Prüfkammer des BP7 (direkt und indirekt).

	3d indirekt		3d direkt		7d indirekt		7 d direkt	
	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik
Mittelwert	5,6	-1,8	7,9	-2,1	6,5	-0,9	8,4	-0,9
Stdabw	1,8	0,9	2,4	0,8	3,0	1,2	2,6	1,7
VB90%	1,0	0,5	1,3	0,5	1,7	0,7	1,5	1,0
	14d indirekt		14d direkt		28d indirekt		28d direkt	
	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik
Mittelwert	4,7	-0,9	8,7	-1,5	6,6	-1,3	8,4	-1,7
Stdabw	2,6	1,0	3,5	1,6	3,3	1,2	4,7	1,6
VB90%	1,4	0,4	1,9	0,7	2,4	0,8	3,5	1,0

1m³-Prüfkammeruntersuchung:

Ergebnisse der chemischen Prüfung - 1m³-Prüfkammer

In Tabelle 13 und Tabelle 14 sind die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen in einer 1m³-Prüfkammer aufgelistet. Abbildung 21 zeigt die Auswertung des dotierten Bodenbelagsklebers gemäß AgBB-Schema.

Tabelle 13: Ergebnisse der VOCs des BP7 – 1m³-Kammer.

RT	CAS-Nr.	Substanz	Konzentration in µg/m ³ nach			
			3d	7d	14d	28d
5.06	000064-17-5	Ethanol	2	2	2	2
5.35	000067-64-1	Aceton	10	12	10	9
9.44	000071-36-3	n-Butanol	10	8	5	4
12.85	000064-19-7	Essigsäure	2232	573	1	<1
17.16	000066-25-1	n-Hexanal	2	2	<1	<1
18.15	000057-55-6	1,2-Propandiol	284	69	9	1
19.83	000067-68-5	Dimethylsulfoxid (Toluen)	5273	2040	489	106
22.70	000111-76-2	Butylglykol	8	4	1	<1
23.18	000067-71-0	Dimethylsulfon (Toluen)	21	19	7	4
24.03	000080-56-8	alpha-Pinen	52	11	2	<1
26.05	018172-67-3	beta-Pinen	3	<1	<1	<1
27.20	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	14	4	1	1
27.95	000099-87-6	p-Cymen	13	1	<1	<1
28.13	005989-27-5	Limonen	25	3	<1	<1
28.24	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	6	1	<1	<1
30.54	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	5	2	1	<1
30.87	000124-19-6	n-Nonanal	2	2	2	1
31.08	999062-14-2	Diethylenglykol-monoacetat (Toluen)	2	4	4	3
31.68	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	38	11	3	2
32.27	000103-09-3	2-Ethylhexylacetat	14	3	<1	<1
32.73	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	269	95	23	5
33.28	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	12	6	4	1
33.59	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	17	14	5	2
33.71	002682-20-4	2-Methyl-4-isothiazolin-3-on	14	10	6	3
33.93	000112-34-5	Butyldiglykol	2085	1530	900	403
34.22	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	300	125	40	10
34.62	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	6	3	1	<1
34.94	026172-55-4	5-Chlor-2-methyl-4-isothiazolin-3-on	14	7	3	1
36.17	000628-68-2	Diethylenglykoldiacetat (Toluen)	68	55	39	22
36.36	035836-73-8	Nopol (Toluen)	69	39	16	7
37.27	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	7	4	2	1
37.99	000124-17-4	Butyldiglykolacetat	6553	5600	4256	2848
38.51	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	33	26	15	10

38.99	000112-73-2	Dibutyldiglykol (Toluen)	120	77	45	24
39.14	000000-06-9	Terpene, sonstige (3-5) (Toluen)	25	16	8	4
42.08	003075-84-1	2,2,5,5-Tetramethylbiphenyl (Toluen)	20	18	16	15
42.22		Methylphenylindan (Toluen)	15	15	13	13
42.38		Methylphenylindan (Toluen)	16	15	13	13
42.48		Methylbenzylphenol (Toluen)	23	27	30	36
43.17		Methylbenzylphenol (Toluen)	9	11	12	16
Summe VVOC (< C6):			12	14	12	11
Summe aller gemessenen Komponenten als TVOC * Originalresponse Wert:			17596	10364	5888	3463
Summe aller gemessenen Komponenten als TVOC Toluen Wert:			14331	8879	5172	3141
Summe SVOC (> C16):			83	86	84	93

(Die tiefgestellt angegebenen Fragmente/Substanzen wurden als Referenz für die Quantifizierung verwendet)

Tabelle 14: Ergebnisse der leichtflüchtigen Aldehyde des BP7 - 1m³-Kammer).

CAS-No.	Substanz	Konzentration in µg/m ³ nach				Bestimmungsgrenze [µg/m ³]
		3d	7d	14d	28d	
50-00-0	Formaldehyd	34	6	5	3	2
75-07-0	Acetaldehyd	< 3	< 3	< 3	< 3	3
123-38-6	Propanal	< 3	< 3	< 3	< 3	3
123-72-8	Butanal	< 4	< 4	< 4	< 4	4

Probenbezeichnung Name of the sample	A11979/P41188 (1m³-Kammer)			Wichtige Informationen (important information)		Tabellenblätter schützen protect worksheets	
Aktenzeichen beim DIBt File number of DIBt							
Prüfinstitut Testing laboratory	Fraunhofer Institut für Holzforschung					Blattschutz aufheben unprotect worksheets	
Ergebnis überblick General view of the results ADAM_2012_08_3	3 Tage (days)			7 Tage (days)		28 Tage (days)	
	Ergebnisse results	AgBB Anforderungen requirements	Abbruchkriterien break-off criteria	Ergebnisse results	Abbruchkriterien break-off criteria	Ergebnisse results	AgBB Anforderungen requirements
	µg/m³	mg/m³	mg/m³	µg/m³	mg/m³	µg/m³	mg/m³
	17587	18 !! ≤ 10 mg/m³	17,6 !! ≤ 0,3 mg/m³	10331	10,3 !! ≤ 0,5 mg/m³	3435	3,4 !! ≤ 1,0 mg/m³
	83	keine none	0,08 !! ≤ 0,03 mg/m³	86	0,09 !! ≤ 0,05 mg/m³	93	0,1 ≤ 0,1 mg/m³
	27,451	keine none	27,5 !! ≤ 0,5	16,662	16,7 !! ≤ 0,5	3,969	4 !! ≤ 1
	5551	keine none	5,55 !! ≤ 0,05 mg/m³	2230	2,23 !! ≤ 0,05 mg/m³	159	0,2 !! ≤ 0,1 mg/m³
	Σ VOC o. NIK without LCI						
	0	0,00 ≤ 0,01 mg/m³	0,000 ≤ 0,001 mg/m³	0	0,000 ≤ 0,001 mg/m³	0	0,000 ≤ 0,001 mg/m³

Abbildung 21: AgBB-Auswertung des BP7 – 1m³-Kammerprüfung.

Ergebnisse der sensorischen Prüfung - 1m³-Prüfkammer:

Tabelle 15: Rohdaten der empfundenen Intensität und der Hedonik in einer 1m³-Prüfkammer (BP7).

	3d indirekt		7d indirekt		14d indirekt		28d indirekt	
	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik
Mittelwert	6,8	-1,8	6,2	-1,0	4,7	-0,3	6,9	-1,3
Stdabw	2,7	0,9	2,7	1,1	2,3	1,2	3,1	1,2
VB90%	1,5	0,5	1,4	0,6	1,1	0,6	1,9	0,8

Tabelle 16: Korrigierte Daten der empfundenen Intensität und der Hedonik in einer 1m³-Prüfkammer (BP7).

	3d indirekt		7d indirekt		14d indirekt		28d indirekt	
	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik	Intensität	Hedonik
Mittelwert	6,8	-1,8	6,2	-0,9	5,0	-0,3	6,6	-1,3
Stdabw	2,7	0,9	2,6	1,2	2,4	1,2	3,3	1,2
VB90%	1,5	0,5	1,5	0,7	1,3	0,6	2,4	0,8

Zusammenfassung der Ergebnisse des BP7 (1- und 3m³-Kammerprüfung):

Die Probe war eine sehr starke Quelle an flüchtigen organischen Verbindungen mit einer VOC-Konzentration von 2871 µg/m³ (3m³-Kammer) und 3463 µg/m³ (1m³-Kammer) über die gesamte Testdauer von 28 Tagen. Es wurden keine chronisch und akut toxischen Substanzen freigesetzt (Nachweisgrenze 1 µg/m³). Die emittierenden Hauptkomponenten des Bauprodukts waren Dimethylsulfoxid, Glykole sowie Glykoletheracetate. Geruchsrelevante Komponenten wie Essigsäure, Nopol und Terpene wurden über die gesamte Prüfzeit in geringen Mengen nachgewiesen. Da die Emissionsuntersuchung und die VOC-Auswertung der Bauprodukte bei diesem Projekt gemäß AgBB-Vorgabe durchgeführt wurden,

sind einige geruchsrelevante Komponenten dieser Probe gemäß AgBB-Vorgaben unter der Gruppe der Terpene zusammengefasst. Da diese Komponenten für weitere Untersuchungen relevant waren, wurden diese Komponenten mit der Originalreferenz, soweit vorhanden, quantifiziert. Bei diesen Substanzen handelt es sich um alpha-Phellandren, alpha-Terpinen, Fenchol, alpha-Terpineol, Verbenon, Longifolen und Zingiberen.

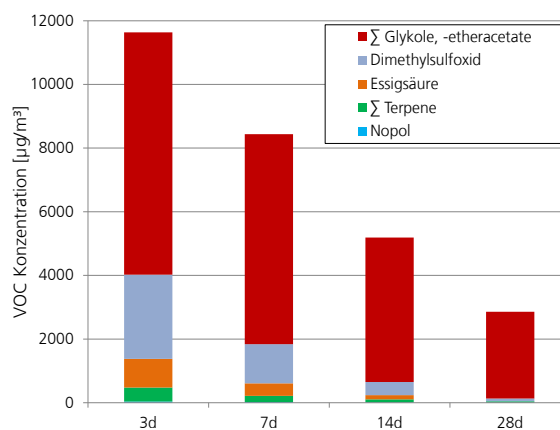
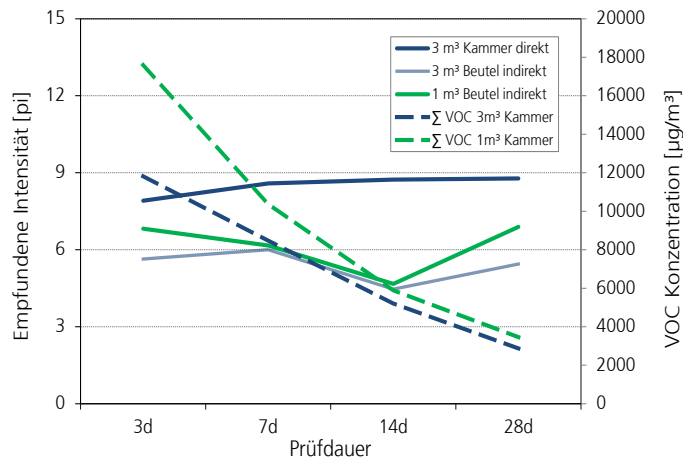


Abbildung 22: VOC-Konzentrationen der Hauptemittenten des BP7 in einer 3m³-Prüfkammer über 28 d.

Abbildung 22 zeigt die VOC-Konzentrationen der geruchsrelevanten Substanzen sowie der Hauptemittenten des dotierten Bodenbelagsklebers in einer 3m³-Prüfkammer über eine Prüfdauer von 28 d.



In den folgenden Abbildungen sind die unterschiedlichen Geruchsbewertungsvarianten (Rohdaten) des dotierten Bauprodukts gegenübergestellt. Die Diagramme unterliegen folgender Farbnomenklatur: Blau markiert sind die Ergebnisse der 3m³-Kammerprüfung. Grün sind die Untersuchungen in der 1m³-Prüfkammer dargestellt. Die gestrichelten Linien zeigen das Emissionsverhalten der Probe in einer 1- und 3m³-Prüfkammer. Die durchgezogenen Linien stellen die Ergebnisse der empfundenen Intensität dar.

Abbildung 23: Empfundene Intensität (Rohdaten) und VOC-Konzentration (BP7). 1- und 3m³-Kammer Prüfung über 28d.

Abbildung 23 zeigt das Emissionsverhalten der empfundenen Intensität und der VOC-

Konzentration des BP7 über einen Messzeitraum von 28d (Rohdaten). Die VOC-Konzentration in beiden Prüfkammern zeigt ein normales Abklingverhalten für Produkte dieser Art, wohingegen die Geruchsintensität sich über die gesamte Prüfdauer auf einem relativ ähnlichen Intensitätsniveau zwischen 6,9 – 4,5 pi (indirekte Bewertung) und 8,8 – 7,9 pi (direkte Bewertung) über 28d bewegt. Vergleicht man die Geruchsintensitäten der Geruchsbewertungen (direkt/indirekt) aus der 3m³-Kammerprüfung, liegen die Intensitätsunterschiede zwischen 4,2 – 2,3 pi, wohingegen die indirekten Bewertungen aus beiden Prüfkammeruntersuchungen sich auf einem ähnlichen Intensitätsniveau bewegen.

In Abbildung 24 sind die Ergebnisse der direkten und indirekten Bewertung der empfundenen Intensität (Rohdaten) in einer 1m³- und 3m³-Prüfkammer über 28d als Säulendiagramm dargestellt. Der aufgeführte Fehlerindikator ist das 90 %-Konfidenzintervall. Die Vertrauensbereiche der direkten Bewertungen liegen zwischen 1,3 – 2,6 pi und der indirekten Bewertungen bei 1,0 – 1,8 pi. Somit wird das +/- 2 pi-Kriterium gemäß DIN ISO 16000-28 für Intensitätsmessungen bei den indirekten Bewertungen erfüllt. Hingegen liegt bei der direkten Bewertung der Vertrauensbereich bei der Prüfung nach 28d bei 2,6 pi. In diesem Fall hätte die Prüfung nach 28d direkt an der Kammer wie-

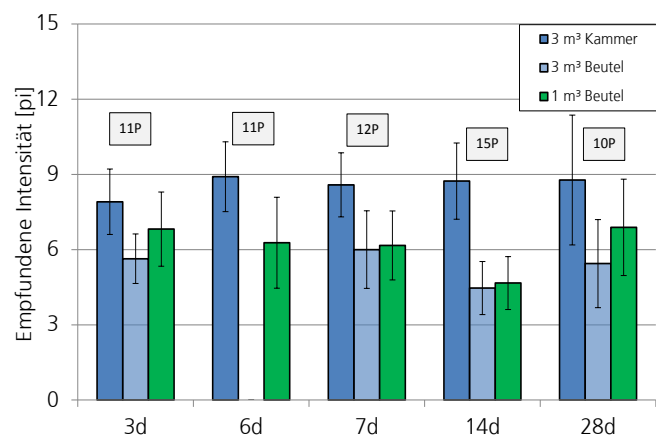


Abbildung 24: Empfundene Intensität BP7 (direkte und indirekte Bewertung). Parallele Untersuchung in einer 1- und 3m³-Prüfkammer über 28d.

derholt werden müssen. Die Daten in den grauen Kästchen stellen die Anzahl der Testpersonen dar, die an der jeweiligen Geruchsprüfung teilgenommen haben.

Bewertet man das Bauprodukt gemäß AgBB-Schema, würde die Probe die VOC-Anforderungen nach 3 und 28 Tagen nicht bestehen. Die Intensität und die Hedonik beider Kammerprüfungen hingegen würden unterhalb der vorgeschlagenen AgBB-Anforderungen von $9 \text{ pi} + 2 \text{ pi}$ für die Geruchsintensität und $-1,2 - 0,8$ für die hedonische Wirkung liegen (Müller et al. 2011).

6.1.2 Zusammenfassung der Emissionsprüfungsergebnisse aller untersuchten Bauprodukte

Während der gesamten Projektlaufzeit wurden zwölf Bauprodukte untersucht. Die Probenauswahl, die Prüfparameter sowie die Versuchsdurchführung dieser Prüfungen sind in Kapitel 5.4 beschrieben. In Tabelle 17 sind alle Ergebnisse (TVOC-Wert, SVOC-Wert, R-Wert, die empfundene Intensität (I), Hedonik (H) nach 3d und 28d unter AgBB-Anforderungen aufgeführt. Unter den geprüften Proben waren niedrige, moderate sowie starke VOC-Quellen. Mit den 12 Bauprodukten wurden insgesamt 19 Kammerprüfungen durchgeführt und gemäß AgBB-Vorgaben ausgewertet (siehe Abbildung 25). Von den 19 Untersuchungen würden 10 Emissionsprüfungen die chemischen AgBB-Anforderungen nicht erfüllen. Die vorgeschlagenen

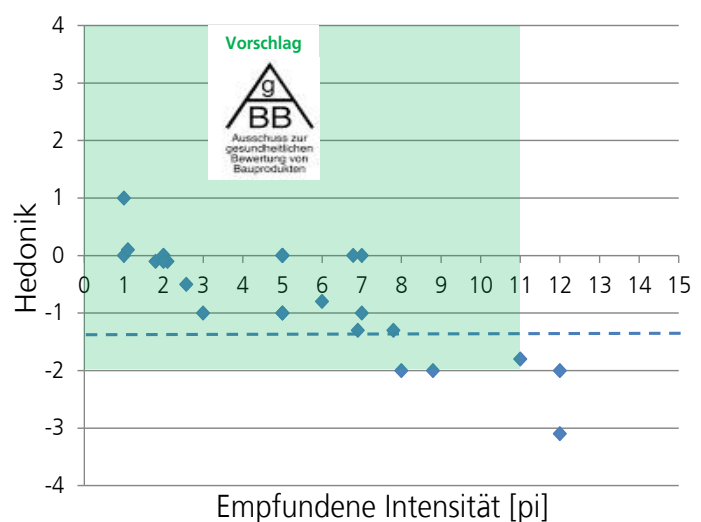


Abbildung 25: Empfundene Intensität vs. Hedonik nach 28d von 19 Kammerprüfungen im Hinblick auf die vorgeschlagenen sensorischen AgBB-Anforderungen.

Kriterien für die Geruchsintensität gemäß AgBB-Schema von $9 \text{ pi} + 2 \text{ pi}$ würden zwei direkt bewertete Prüfungen nicht erfüllen, wohingegen die dazugehörigen indirekten Bewertungen unterhalb von 11 pi liegen und somit die AgBB-Anforderungen im Hinblick auf die Geruchsbewertung erfüllen würden. Von den zwei abgelehnten Geruchsprüfungen würde eine Probe sowohl die chemischen als auch die sensorischen AgBB-Kriterien nicht bestehen. Demnach wäre dieses Produkt bereits durch die chemische AgBB-Prüfung nicht zugelassen worden. Die andere Emissionsprüfung erfüllt die chemischen AgBB-Anforderungen, die sensorischen Kriterien hingegen werden nicht eingehalten. Folglich würde von 19 Untersuchungen nur eine Untersuchung im Hinblick auf die Geruchsbewertung das AgBB-Schema nicht erfüllen, obwohl die chemischen Kriterien der Prüfungen erfüllt wurden. Somit wurden durch die zusätzlichen sensorischen Untersuchungen gemäß AgBB-Vorgaben ~ 5 % der Prüfungen herausgefiltert.

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse der empfundenen Intensität der Proben, die parallel in einer 1 m^3 - und 3 m^3 -Prüfkammer durchgeführt wurden. Die gestrichelt dargestellten Kurven sind die Geruchsintensitäten der direkten Bewertungen an einer 3 m^3 -Prüfkammer. Die durchgezogenen Linien sind die indirekten

Tabelle 17: Zusammenfassung der Ergebnisse der chemisch-sensorischen Untersuchungen von 12 Bauprodukten unter AgBB-Anforderungen nach 3 und 28d.

Material	Proben- darbietung	3d			28d				
		TVOC [µg/m³]	Intensität [pi]	Hedonik -	TVOC [µg/m³]	SVOC [µg/m³]	R-Wert	Intensität [pi]	Hedonik -
BP1 - 3-m³	direkt	9171	14	nb	3950	< 1	9,50	12	-2
BP1 - 3-m³	indirekt	*	10	nb	*	*	*	7	-1
BP1 - 1-m³	indirekt	9170	10	nb	3126	< 1	7,50	7	0
BP2 - 3-m³	direkt	245	11	-3	111	5	0,17	12	-3
BP2 - 3-m³	indirekt	*	4	-1	*	*	*	6	-1
BP2 - 1-m³	indirekt	213	5	-1	131	< 1	0,20	5	0
BP3 - 3-m³	direkt	17740	11	-3	250	< 1	0,10	8	-2
BP3 - 3-m³	indirekt	*	4	-1	*	*	*	1	1
BP3 - 1-m³	indirekt	17808	5	-1	259	< 1	0,10	2	0
BP4 - 3-m³	direkt	28	10	-2	8	< 1	0,02	11	-2
BP4 - 3-m³	indirekt	*	2	-1	*	*	*	2	0
BP4 - 1-m³	indirekt	16	2	-1	6	< 1	0,02	2	0
BP5 - 3-m³	direkt	819	7	0	384	< 1	0,28	7	0
BP5 - 3-m³	indirekt	*	6	0	*	*	*	5	0
BP5 - 1-m³	indirekt	1673	5	-1	829	< 1	0,62	5	-1
BP6 - 3-m³	direkt	981	11	-2	10	< 1	0,014	8	-1
BP6 - 3-m³	indirekt	*	10	-2	*	*	*	5	0
BP6 - 1-m³	indirekt	697	8	-2	< 1	< 1	< 0,00	2	0
BP7 - 3-m³	direkt	11772	8	-2	2850	102	3,27	9	-2
BP7 - 1-m³	indirekt	*	6	-2	*	*	*	5	-1
BP7 - 1-m³	indirekt	17489	7	-2	3435	93	3,97	7	-1
BP8 - 1-m³	indirekt	1629	6	-1	107	25	0,06	1	0
BP9 - 1-m³	indirekt	705	9	-1	32	29	0,04	3	-1
BP10 - 1-m³	indirekt	405	5	1	27	11	0,03	1	0
BP11 - 1-m³	indirekt	537	3	0	87	237	0,05	2	0
BP12 - 1-m³	indirekt	28254	7	-2	681	< 1	0,19	3	-1

I: Empfundene Intensität, H: Hedonik, *: Ergebnisse siehe 3m³-Kammerprüfung derselben Probe, nb: nicht bestimmt

Bewertungen mit Probenluft aus 1- und 3m³-Prüfkammern. Die Abbildung stellt dar, dass bei den geprüften Materialien die gemessenen Intensitäten über einen großen Wertebereich verteilt waren, so dass die Bewer-

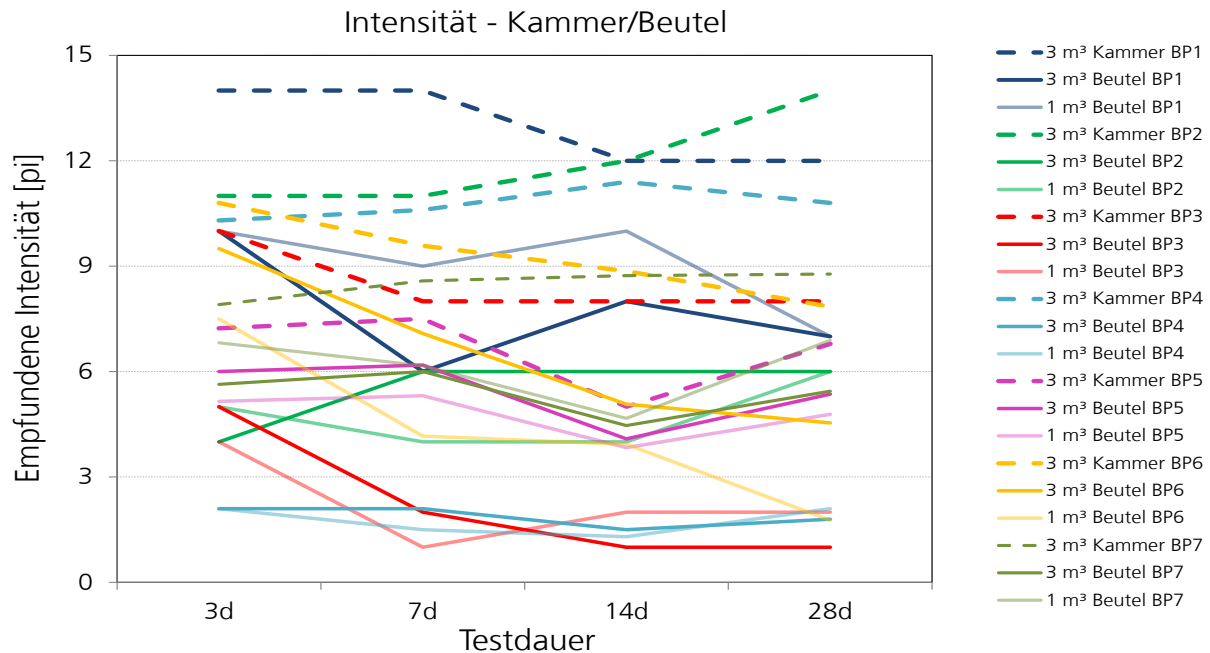


Abbildung 26: Empfundene Intensität (Rohdaten) über eine Prüfdauer von 28d (direkte und indirekte

tungsskala weitestgehend ausgenutzt wurde. Die Geruchsintensitäten bei der direkten Bewertung an den 3m³-Prüfkammern lagen immer höher als die Intensitäten bei der indirekten Geruchsbewertung über die Beutelluft, wohingegen die VOC-Werte der parallelen Prüfungen untereinander bei fast allen Proben vergleichbar waren (siehe Abbildung 27). Nur Bauprodukt 5 zeigt hinsichtlich des TVOC-Werts der beiden Untersuchungen Unterschiede, die zwischen 500 – 800 µg/m³ über die gesamte Testdauer von 28d liegen.

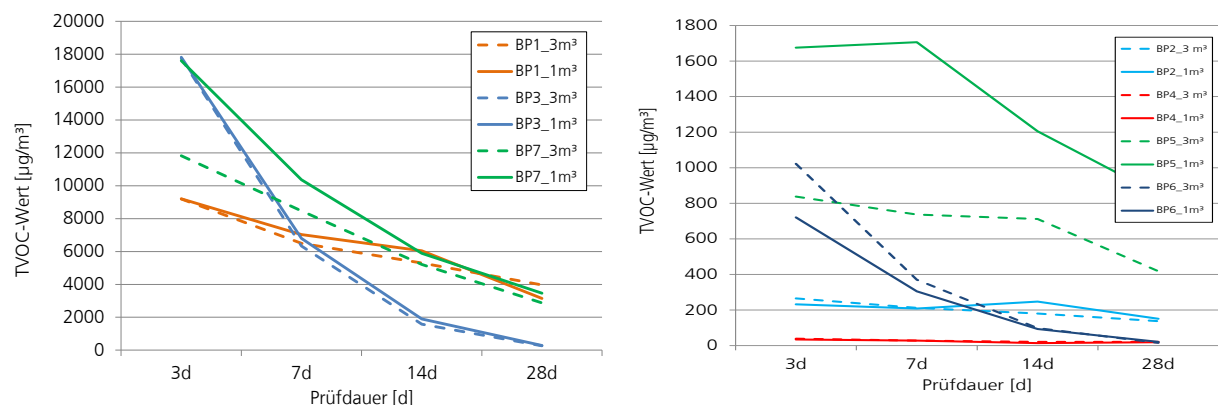


Abbildung 27: TVOC-Werte der Bauprodukte 1 – 7, die parallel in 1- und 3m³-Kammern über 28d untersucht wurden.

Die hedonische Wirkung über die empfundene Intensität aller untersuchten Produkte ist in Abbildung 28 dargestellt. Trägt man die hedonische Wirkung über die Intensität auf, so ist festzustellen, dass bei einer hohen Intensität die hedonische Wirkung überwiegend im unangenehmen Bereich liegt.

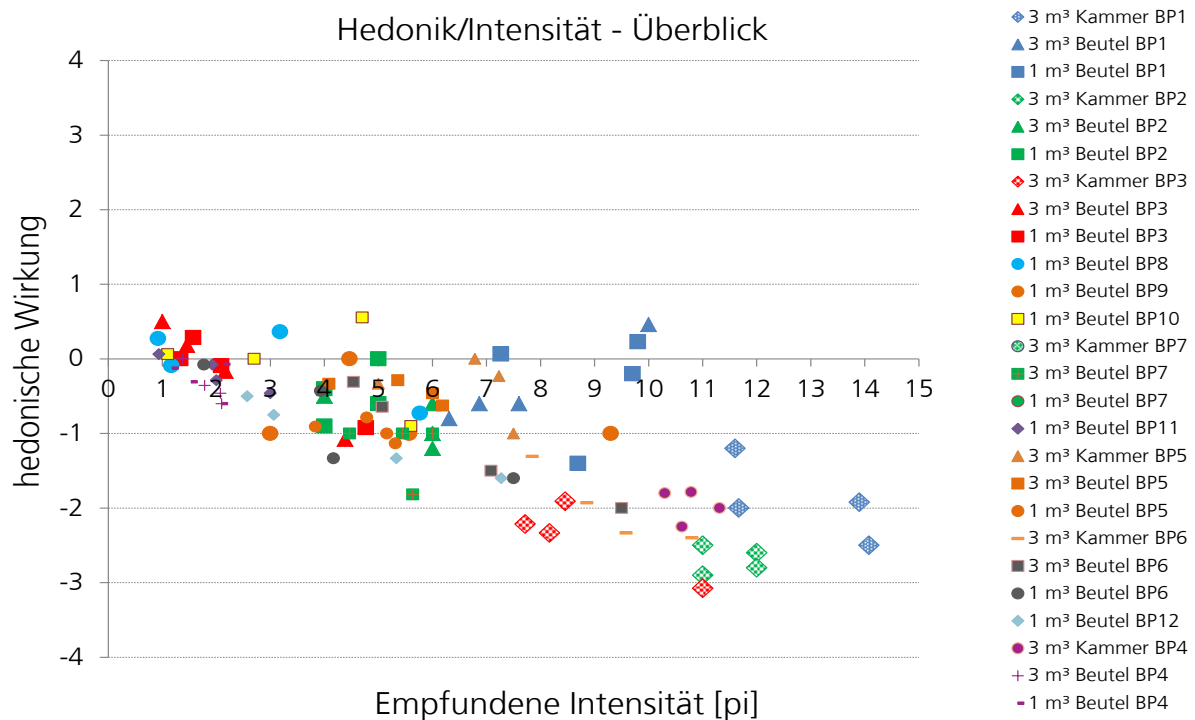


Abbildung 28: Hedonische Wirkung vs. empfundene Intensität (Rohdaten) der untersuchten Bauprodukte über eine Prüfdauer von 28d.

6.2 Ergebnisse der Vergleichsprüfungen Kammer- und Beutelluftproben

Um vergleichbare und zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, ist die Absicherung der Methodenvariante der indirekten und direkten Geruchsbewertung von Bauprodukten ein wesentlicher Punkt bei der Bestimmung von Geruchsemissionen. Die empfundene Intensität eines Bauprodukts darf laut DIN ISO 16000-28 mittels direkter Bewertung an einer Prüfkammer oder über Probenbeutel ermittelt werden. Ob eine Probe direkt oder indirekt bewertet werden kann, hängt von der Kammergröße, in der die Prüfung stattfindet, ab. Eine direkte Probenbewertung kann nur an Kammern mit einem Volumen $\geq 3\text{m}^3$ erfolgen, da nur dann ein ausreichend großer Volumenstrom von 0,6 l/s zur Bewertung vorliegt. Bei Emissionsprüfkammern mit geringerem Volumen muss Probenluft in Beutel gezogen werden, die wiederum über ein Probenahmegerät den Testpersonen zur Bewertung angeboten wird (siehe Kapitel 5.3.2.2).

Da diese Methode in das AgBB-Schema implementiert werden soll und die Emissionsprüfungen gemäß AgBB-Schema überwiegend in Kammern $< 3\text{m}^3$ stattfinden, wird die Intensitätsbestimmung solcher Untersuchungen hauptsächlich über den Umweg der Beutelbewertung stattfinden müssen. Eine Geruchsbewertung bzw. eine Emissionsprüfung gemäß AgBB-Vorgaben in Kammern $> 3\text{m}^3$ würde den Aufwand beträchtlich erhöhen.

Um zu beurteilen, ob diese Methodenvarianten vergleichbare Ergebnisse liefern, wurden einige Produkte an derselben Kammer direkt und indirekt bewertet. Zudem wurden die VOC-Konzentrationen der Kammerluft und der Beutelluft verglichen (siehe Kapitel 6.2.1). Weitere Untersuchungen erfolgten mit Kammerluft, die mit einer Auswahl an Substanzen dotiert wurde (siehe Kapitel 6.2.2). Die Beutel, die vornehmlich für die Untersuchungen benutzt wurden, waren aus dem Material Nalophan. Zudem wurden einige Prüfungen mit Beuteln aus dem Material Tedlar durchgeführt. In diesen Fällen wurden die Daten gesondert markiert.

6.2.1 Direkte und indirekte Geruchsbewertung von Bauprodukten

Abbildung 29 zeigt die empfundenen Intensitäten von Proben, die parallel direkt und indirekt bewertet wurden. Die Geruchsbewertungen erfolgten mit Probenluft direkt aus einer 3m^3 -Prüfkammer und mit Probenluft, die aus derselben Prüfkammer in Beuteln gesammelt wurde. Beide Bewertungsvarianten erfolgten unmittel-

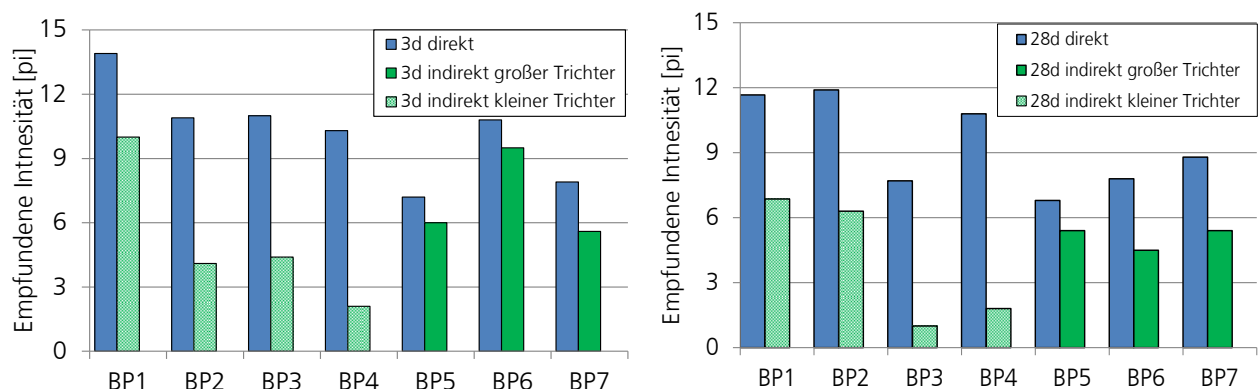


Abbildung 29: Empfundene Intensität von Bauprodukten, die indirekt und direkt nach 3d (links) und 28d (rechts) bewertet wurden.

bar nacheinander mit demselben Probandenteam. Der Zeitraum zwischen Entnahme der Beutelluftproben und der Bewertung der Beutelproben wurde so kurz wie möglich gehalten, lag aber nie über 1,5 Stunden. In Abbildung 29 sind grün/grün schraffiert die indirekt ermittelten Geruchsintensitäten dargestellt. Grün schraffiert markiert sind die Bewertungen mit einem kleinen Trichter (Trichter A siehe 5.5.3.2 Tabelle 6). Die grün dargestellten Säulen sind die Geruchsintensitäten, die mit einem größeren Bewertungstrichter (Trichter B siehe 5.5.3.2 Tabelle 6) ermittelt wurden. Die blauen Säulen zeigen die Ergebnisse der direkten Geruchsbewertung an einer Prüfkammer (Trichter B). Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede hinsichtlich Beutelluft- und Kammerluftbewertung. Auch die Wahl der Trichtergröße hat einen Einfluss auf die empfundenen Intensitäten, wie die Messwerte in Abbildung 30 darstellen.

Im Abbildung 30 wurden die Intensitäten der direkten und indirekten Bewertungen von 31 Prüfungen miteinander verglichen. Die Beutel für die indirekten Bewertungen waren aus dem Material Nalophan. Die blau dargestellten Datenpunkte (17 Messwerte) wurden mit zwei verschiedenen Trichtern (kleiner (A) und großer (B) Trichter) erzeugt (siehe Kapitel 6.5). Der kleinere Bewertungstrichter (Trichter A) wurde für die indirekte Bewertung der Beutelluftproben und der große Trichter (B) für die direkte Bewertung genommen. Grün markiert sind die Messwerte (14 Datenpunkte), die mit Trichtern derselben Geometrie und Größe erzeugt wurden. Hier wurde sowohl die direkte als auch die indirekte Geruchsbestimmung mit Trichter B durchgeführt (siehe Kapitel 6.5).

Wären die beiden Verfahrensvarianten (Kammer- zu Beutelbewertung) miteinander vergleichbar, so müssten sich die Daten um die schwarz gestrichelte Linie bewegen. Betrachtet man alle Datenpunkte des Diagramms, gibt es keine Übereinstimmung der direkten und indirekten Bewertung. Die blauen Datenpunkte (Trichter A) zeigen größere Abweichungen (-4 bis -10 pi) von der direkten Bewertung, als die Geruchsintensitäten, die mit dem größeren Trichter B (-1 bis -4 pi) ermittelt wurden (grüne Datenpunkte).

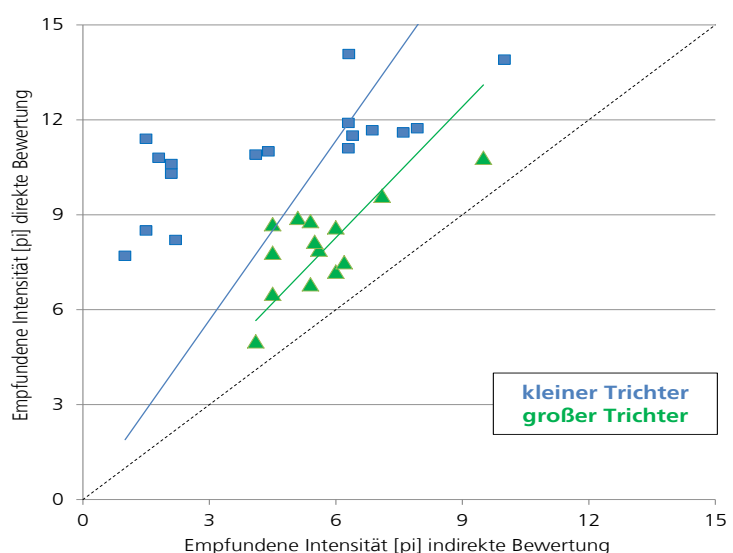


Abbildung 30: Empfundene Intensität direkte vs. indirekte Bewertung.

Somit gibt es keine gute Übereinstimmung bei den hier parallel durchgeführten direkten und indirekten Intensitätsbewertungen. Die direkten Bewertungen an der Prüfkammer ergeben immer höhere Intensitäten als die Bewertungen über Nalophan-Beutel. Demnach führt diese Verfahrensvariante gemäß DIN ISO 16000-28 zu nicht vergleichbaren Intensitätsergebnissen bei Produktuntersuchungen, die unter gleichen Prüfparametern parallel durchgeführt wurden.

In Abbildung 31 sind die empfundene Intensitäten der direkten und indirekten Intensitätsbewertung nochmals als Abweichung in π dargestellt. Wobei hier die direkte Bewertung an der Emissionsprüfkammer als Sollwert definiert wurde und immer mit einem großen Trichter (Trichter B) durchgeführt wurde. Je nach Trichterwahl (kleine/große Trichter siehe Kapitel 5.5.3.2 Tabelle 6) sind die Abweichungen der empfundenen Intensitäten unterschiedlich groß.

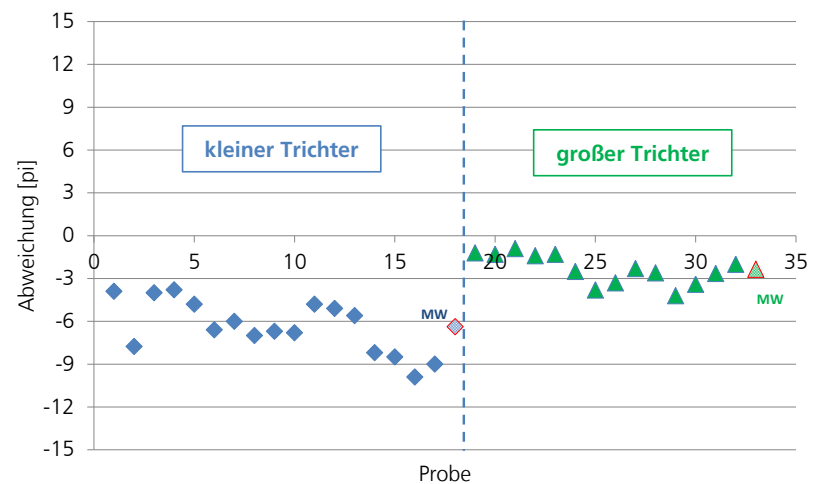


Abbildung 31: Abweichungen der empfundenen Intensität direkte zu indirekter Bewertung [π].

Auch hier lässt die DIN ISO 16000-28 zu viel Varianz bei der Wahl der Trichtergeometrie. In der Norm ist lediglich die Trichteröffnung mit 12° reglementiert. Länge und Eingangsdurchmesser des Bewertungstrichters werden beispielsweise nicht beschrieben, sind aber aller Wahrscheinlichkeit nach relevant für vergleichbare und zuverlässige Ergebnisse.

6.2.1.1 VOC-Konzentrationen von Beutelluftproben über die Zeit

Im folgenden Kapitel werden die Konzentrationen der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus einer Prüfkammer mit denen der Beutelproben verglichen. Zentraler Schwerpunkt dieser Untersuchungen war das Verhalten der VOC in Probenbeuteln über die Zeit. Darüber hinaus könnten diese Messungen Rückschlüsse auf die Minderbefunde der indirekten Intensitätsbewertung über die Beutelproben geben. Die Versuchsdurchführung ist in Kapitel 5.5.2.1 beschrieben. Die Konzentrationsverläufe werden hier an zwei Bauprodukten (BP5; BP7) beispielhaft dargestellt.

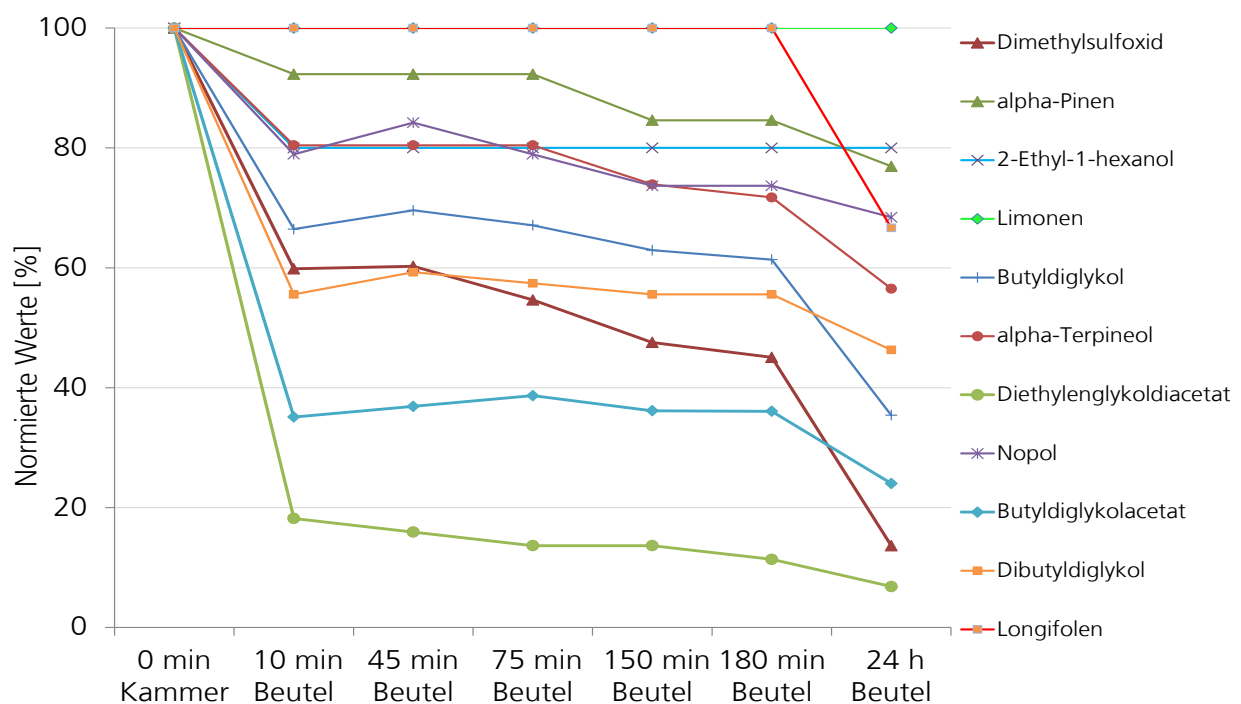


Abbildung 32: VOC-Gehalt Kammer-Nalophan-Beutel über die Zeit (BP7).

Obenstehendes Diagramm zeigt den Konzentrationsverlauf einiger ausgewählter VOC in einem Nalophan-Beutel. Die zusätzliche Untersuchung der Beutelluft erfolgte während der Emissionsprüfung eines dotierten Bauprodukts (BP7). Zur besseren Darstellung wurden die Messwerte normiert. Erster Datenpunkt (0 min Kammer) stellt die Kammerkonzentration direkt vor der Luftprobenahme des Beutels dar. Alle weiteren Messpunkte stellen den Konzentrationsverlauf der VOC in einem Probenbeutel (Nalophan) dar. Die Substanzen Longifolen, Limonen, alpha-Pinen, 2-Ethyl-1-hexanol, Nopol und alpha-Terpinolen zeigen über einen Zeitraum von 24 h Verluste um die 20 - 30 %. Augenscheinlich ist, dass die größten Konzentrationsabnahmen bereits unmittelbar nach dem Befüllen des Probenbeutels auftreten und danach nur noch ein leichtes Abklingen der Substanzen verzeichnet wurde. Ein ähnliches Emissionsverhalten weisen die Glykole, Glykoletheracetate und Dimethylsulfoxid auf. Hingegen liegen die Differenzen direkt nach dem Befüllen des Beutels deutlich höher (bis 80 %) und sind wahrscheinlich auf Wandeffekte des Beutelmateriale zurückzuführen.

Abbildung 33 zeigt ebenfalls den VOC-Verlauf von Probenluft in einem Probenbeutel (BP5). Allerdings wurden hier nur Proben über einen Zeitraum von 360 min gesammelt. Die Terpene (Limonen, alpha-Pinen, 3-Caren), gesättigten Aldehyde (Hexanal, Pentanal) sowie Essigsäure zeigen direkt nach dem Befüllen und im weiteren Versuchsverlauf Abweichungen zur Kammerkonzentration um die 20 %, die sich allerdings im analytischen Fehlerbereich für VOC-Prüfungen bewegen. Die Carbonsäuren wie Pentansäure und Hexansäure sowie das ungesättigte Aldehyd trans-2-Heptenal weisen hingegen direkt nach dem Befüllen des Beutels nur noch ca. 50 - 70 % ihrer Ausgangskonzentration (VOC-Gehalt Kammer) auf. Auch im weiteren Testverlauf bewegen sich die Verluste in einem ähnlichen Konzentrationsbereich.

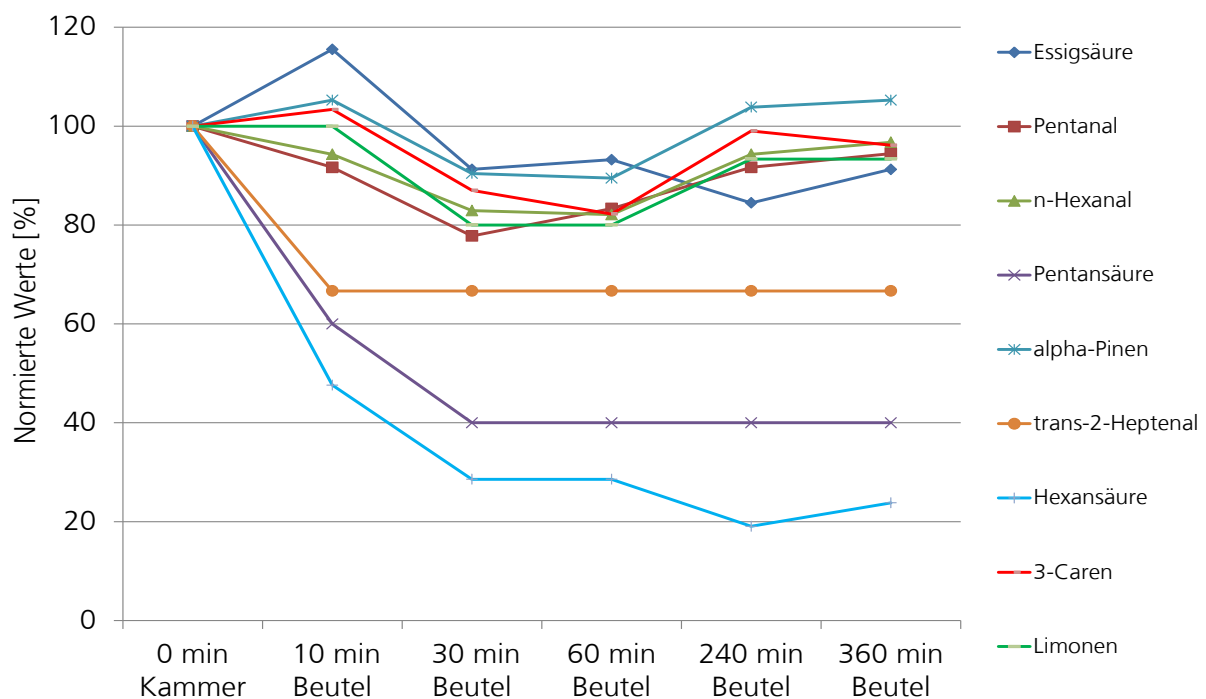


Abbildung 33: VOC-Gehalt Kammer-Nalophan-Beutel über die Zeit (BP5).

Gemäß DIN ISO 16000-28 soll gewährleistet werden, dass der Probenbehälter die Probe innerhalb der ersten 6 Stunden nach Probenahme nicht verändert. Weiterhin wird in der Norm darauf hingewiesen, dass Beutel aus den Materialien Tedlar, Nalophan und FEP geeignet sind für Geruchsprüfungen dieser Art.

Bei den hier durchgeführten Versuchen mit Beuteln aus Nalophan sind deutliche Substanzverluste im Vergleich zur Prüfkammer zu verzeichnen. Bei einigen Substanzen wie alpha-Pinen, Limonen, 3-Caren sowie den gesättigten Aldehyden Hexanal und Pentanal beruhen die Konzentrationsänderungen wahrscheinlich auf dem üblichen analytischen Fehlerbereich für VOC-Prüfungen. Andere Substanzen bzw. -gruppen (Carbonsäuren, Glykole, Glykoletheracetate, Dimethylsulfoxid, trans-2-Heptenal) hingegen weisen deutliche Minderbefunde im Beutel auf. Ursächlich hierfür sind sehr wahrscheinlich Adsorptionseffekte des Beutelmaterials. Demnach könnte der Adsorptionseffekt des Beutelmaterials auf einige Substanzgruppen eine der möglichen Erklärungen für die Minderbefunde der indirekt ermittelten Geruchsintensitäten sein.

6.2.1.2 VOC-Konzentrationen und empfundene Intensitäten von Kammer- und Beutelluftproben vor und nach einer Geruchsbewertung

Im folgenden Kapitel sind die VOC-Ergebnisse von Beutelpunkten vor und nach einer Geruchsprüfung von BP6 und BP7 aufgeführt. Die VOC-Proben wurden immer direkt vor und nach einer Geruchsuntersuchung aus

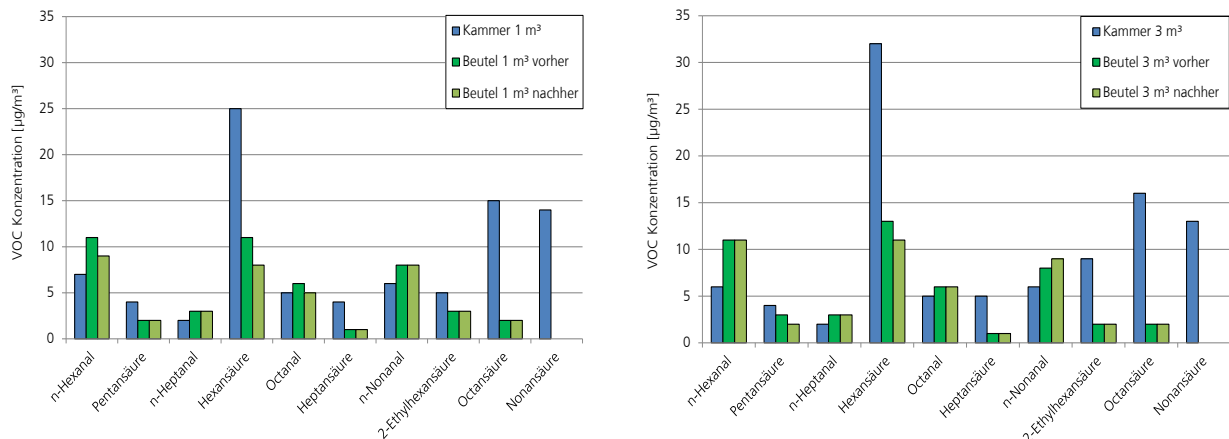


Abbildung 35: VOC-Konzentrationen zweier Probenbeutel vor und nach einer Geruchsbewertung im Vergleich mit den 1- und 3m³-Prüfkammerkonzentrationen nach einer Prüfdauer von 14d (BP6).

den Beuteln mittels TENAX gesammelt. Als vergleichender Wert wurde die dazugehörige Kammerkonzentration des jeweiligen Prüfungstags mit aufgenommen. Weiterhin sind die empfundenen Intensitäten der direkten und indirekten Bewertung mit dargestellt. Diese Prüfungen erfolgten unter dem Aspekt der Unterschiede zwischen den Geruchsintensitäten der direkt an der Kammer bewerteten Proben und der Beutelpunkten. In den obenstehenden Diagrammen (Abbildung 35) sind die VOC-Konzentrationen zweier Probenbeutel vor und nach einer Geruchsbewertung abgebildet. Der besseren Übersicht halber wurde hier nur eine Auswahl an VOC für die Ergebnisbetrachtung mit herangezogen. Das hier untersuchte BP wurde sowohl in einer 1m³-Prüfkammer als auch parallel in einer 3m³-Prüfkammer untersucht. Die Messungen erfolgten nach 14-tägiger Prüfdauer. Zum Vergleich ist immer die dazugehörige Prüfkammerkonzentration im Diagramm mit dargestellt. Die Konzentrationen der Carbonsäuren in beiden Prüfkammern liegen immer in höheren Konzentrationen als bei den dazugehörigen Beutelpunkten vor. Die Nonansäure ist sogar in beiden Beuteln nicht mehr nachweisbar (Nachweisgrenze $< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Hingegen befinden sich die gesättigten Aldehyde in der Kammerluft und Beutelluft auf einem ähnlichen Konzentrationsniveau.

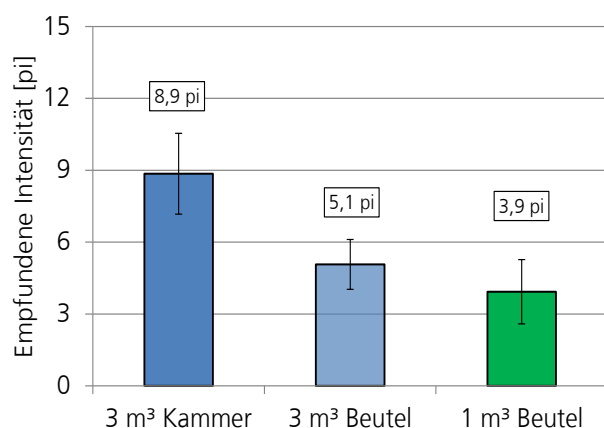


Abbildung 34: Empfundene Intensität von BP6 direkt und indirekt bewertet nach 14d.

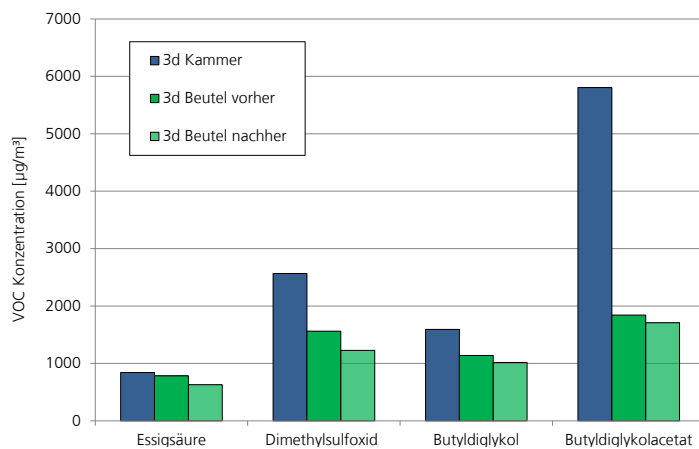


Abbildung 36: VOC-Konz. einer Beutelprobe vor/nach einer Geruchsbewertung im Vergleich mit der Kammerkonz. (BP7).

In Abbildung 34 sind die Geruchsintensitäten (Rohdaten) des 14-Tagewerts dargestellt. Der angegebene Fehlerindikator ist das 90%-Konfidenzintervall. Vergleicht man nun die VOC-Ergebnisse mit den Intensitäten der einzelnen Geruchsbewertungen, so kann man hier ähnliche Tendenzen hinsichtlich der VOC-Konzentration und der Intensität feststellen. Die empfundenen Intensitäten der Beutelluftproben sind geringer als die Intensität der Direktbewertung. Eine mögliche Erklärung für die geringen Intensitäten bei den indirekten Bewertungen wären die Minderbefunde der Carbonsäuren

in den Bewertungsbeuteln. Carbonsäuren, insbesondere die Pentansäure, tragen oftmals zu einem intensiv wahrnehmbaren Geruch bei. Die gesättigten Aldehyde sind zwar auch Verursacher intensiver Gerüche, spielen jedoch in diesem Konzentrationsbereich höchstwahrscheinlich eine untergeordnete Rolle.

Die Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen ebenfalls die VOC-Konzentrationen von Beutelpuben vor und nach einer Geruchsbewertung sowie die dazugehörige Daten der Kammerluftprobe. Die hier dargestellten Ergebnisse des BP7 sind die Daten nach einer Prüfdauer von 3d. Aufgrund der unterschiedlichen Konzentrationsniveaus der detektierten Substanzen wurden die Ergebnisse zur besseren Darstellung in zwei Diagrammen dargestellt. Die VOC-Konzentrationen der Beutelluft (Abbildung 36) der Substanzen Dimethylsulfoxid, Butylglykol und Butyldiglykolacetat sind deutlich geringer als die Konzentrationen in der Kammer. Das gleiche Emissionsverhalten des hier untersuchten Bauprodukts (BP7) wurde auch schon in Kapitel 6.2.1.1 Abbildung 32 dargestellt. Vergleicht man allerdings die Beutelkonzentrationen vor und nach der Bewertung, so treten während der Verweilzeit der im Beutel nachgewiesenen Substanzen kaum Konzentrationsunterschiede auf. In Abbildung 37 sind einige Komponenten (Aceton, alpha-Phellandren, Fenchol, unbekanntes Terpen, Verbenon, Diethylenglykoldiacetat, Zingiberene) auf einem geringeren Konzentrationsniveau dargestellt. Auch hier sind Unterschiede zwischen den Beutel- und Kammerwerten zu verzeichnen bzw. sind die Komponenten in der Beutelluft nicht mehr nachweisbar (Nachweisgrenze < 1 µg/m³).

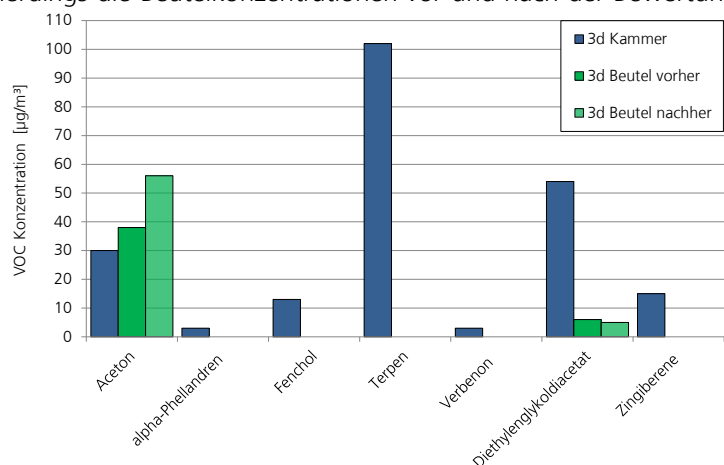


Abbildung 37 VOC-Konz. einer Beutelprobe vor/nach einer Geruchsbewertung im Vergleich mit der Kammerkonz. (BP7).

Eine Ausnahme ist das Konzentrationsverhalten von Aceton. Aceton ist in der Prüfkammer in geringeren Konzentrationen vorhanden als in den Beuteln und nimmt sogar über die Bewertungsdauer im Probenbeutel zu. Hier sei allerdings auf die schlechte Nachweisbarkeit von Aceton mit Tenax hingewiesen. Dennoch ist in Abbildung 39 die Aceton-Konzentration in der Kammerluft und Beutelluft vor und nach der Bewertung über eine Prüfdauer von 28d dargestellt. Wie auch schon in Abbildung 37 aufgeführt, ist die Aceton-Konzentration in den Beuteln immer größer als in der Prüfkammer und nimmt über die Zeit im Beutel zu. Höchstwahrscheinlich gelangt Aceton aus der Laborluft in die Beutel. Entweder beruht dieses Verhalten auf Diffusionseffekten durch das Beutelmateral, oder die Substanz gelangt über die Beutelenden trotz der vorhandenen Verschlüsse in die Beutel.

Die Geruchsintensitäten der Untersuchung sind in Abbildung 38 wiedergegeben. Wie auch schon bei BP6 war die Intensität an der Prüfkammer höher als bei den Beutelproben. Auch hier können mögliche Effekte durch das Beutelmateral ursächlich für die Minderbefunde sein. Gerade bei den Minderbefunden im Beutel bei den geruchsrelevanten Substanzen alpha-Phellandren, Fenchol, Verbenon und Zingiberene kann dies eine Auswirkung auf die Bewertung der Geruchsintensität verursachen. Des Weiteren wird durch die verringerten

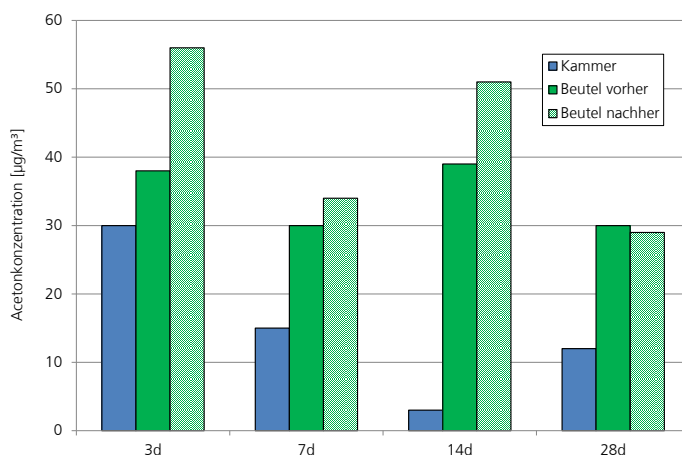


Abbildung 39: Acetonkonzentrationen in Probenbeutel.

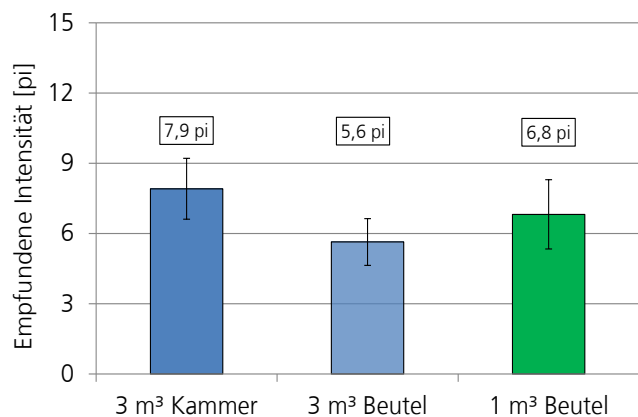


Abbildung 38: Empfundene Intensität von BP7, direkte und indirekte Bewertung nach 3d.

Konzentrationen der Glykole, Glykoletheracetate und der Substanz Dimethylsulfoxid die Probe verändert. Solche Veränderungen von nicht geruchsaktiven Komponenten in einem Probengemisch sind bislang noch nicht geklärt. Wie verhält sich beispielsweise die Geruchswahrnehmung einer Substanzmischung durch die Verringerung der Konzentration einer nicht riechenden Substanz? Werden durch die Verringerung der Konzentration geruchsrelevante Substanzen »aktiviert« bzw. »maskiert« oder ändert sich das Geruchsbild der Probe nicht?

6.2.2 Einfluss des Beutelmaterials auf ein definiertes VOC-Gemisch

Bei allen parallel stattfindenden, direkten und indirekten Geruchsbewertungen von Bauproduktproben in diesem Forschungsvorhaben wurden mittels der Probenbewertung über die Beutel ausschließlich geringere Geruchsintensitäten festgestellt, als bei der Geruchsbewertung der gleichen Kammerluft. Um zu ermitteln, welche Effekte (Adsorption der Wandoberfläche, Undichtigkeit der Beutel bzw. des Materials) ursächlich für die Intensitäts- und VOC-Minderbefunde bei den Beutelluftbewertungen sind, wurden die Probenbeutel gezielt, wie in Kapitel 5.5.2.2 beschrieben, untersucht.

Es wurden Beutel aus dem Material Nalophan und Tedlar untersucht. Ein VOC-Gemisch aus n-Hexanal, trans-2-Hexenal, Pentansäure, alpha-Pinen, Ethylhexylacrylat und Diethylenglykoldiacetat wurde unter statischen Bedingungen in eine Prüfkammer injiziert. Die Substanzen für das Gemisch wurden so gewählt, dass Komponenten aus Substanzgruppen enthalten waren, die auch schon aus vorherigen Beutelluftuntersuchungen sowohl Minderbefunde aufwiesen, als auch nahezu konstante Konzentrationen zeigten. Die Konzentration der einzelnen Komponenten lag in einem Bereich zwischen 200 - 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ je Verbindung, so dass möglichst ausreichend Substanzmenge für eine zuverlässige Quan-



Abbildung 40: Nalophan-Beutel in einer Emissionsprüfkammer zur thermischen Behandlung.

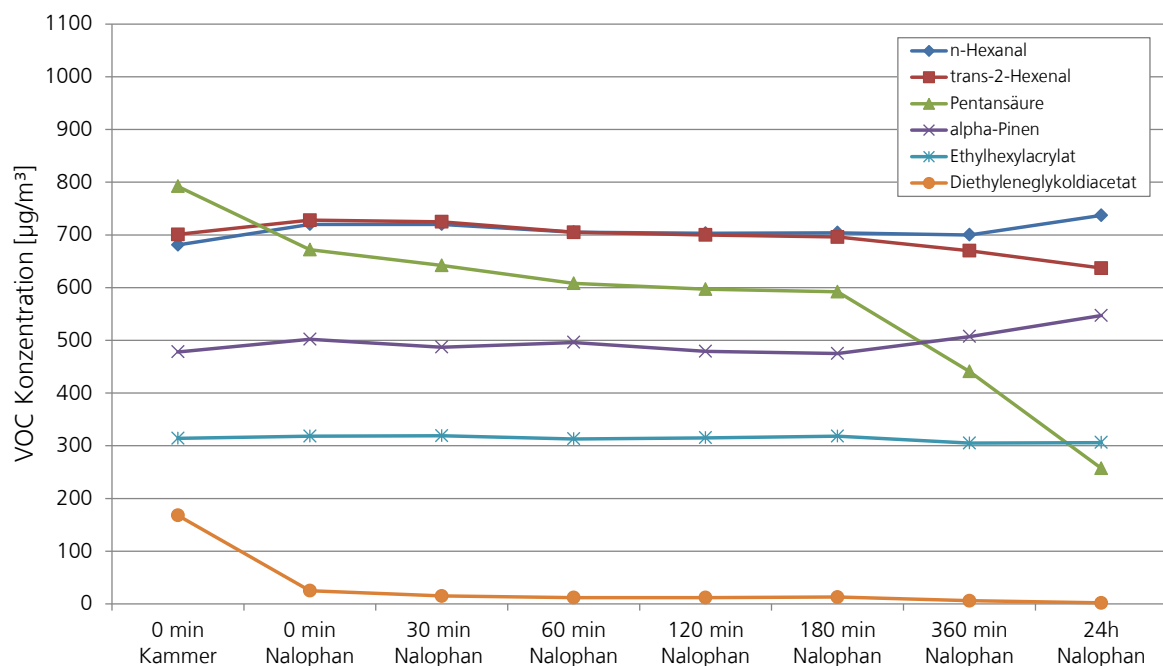


Abbildung 41: VOC-Konzentration Kammerluft/Nalophan-Beutel über 24 h – Dotierversuch.

tifizierung der einzelnen Komponenten vorhanden war. Die Kammerluft wurde nach einer Equilibrierungszeit von ~ 1 Stunde in die Probenbeutel gefüllt und der VOC-Gehalt bestimmt. Nach 24 Stunden wurden die Behälter dreimal mit gereinigter Luft gespült. Die mit gereinigter Luft befüllten Beutel wurden jeweils in eine 1m³-Kammer eingebracht und bei 23 °C und 60 °C Kammertemperatur auf deren VOC-Konzentration über 24 Stunden geprüft (siehe Abbildung 40). Hierbei wurde die Probenluft direkt aus den Beuteln auf Tenax TA gesammelt und analysiert. Die Emissionsprüfkammern dienten bei diesen Messungen lediglich zur Temperierung, um die Beutel bei konstanten klimatischen Bedingungen zu lagern und äußere Einflüsse auf den Probenbehälter weitestgehend zu minimieren.

Der erste Teil des Versuchs sollte darstellen, wie sich die dotierten Komponenten bei einer Raumtemperatur von ~ 23 °C in Nalophan- und Tedlar-Beuteln verhalten. Zeigen die gleichen Substanzen- bzw. -gruppen ein ähnliches Emissionsverhalten auf, wie auch schon bei den vorangegangenen Bauproduktuntersuchungen der Beutelluft (siehe Kapitel 6.2.1). Die thermische Behandlung der mit gereinigter Luft gespülten Beutel bei 60°C sollte ermitteln, ob bei Erhöhung der Temperatur die vorher dotierten (und anschließend durch mehrfaches Spülen entfernten) Substanzen aus dem ersten Teil des Versuchs wieder messbar werden und ggf. sogar einen Konzentrationsanstieg zeigen. Steigt die Konzentration der vorher dotierten Substanzen bei thermischer Belastung des Beutelmaterials, so wäre nachgewiesen, dass diese Substanzen an der Beutelwand adsorbieren. Somit wäre ein Effekt des Beutelmaterials auf die Probenluft erwiesen und eine Ursache der Minderbefunde bei der indirekten Intensitätsbestimmung erklärbar. Die Ergebnisse der Untersuchungen mit Beuteln aus dem Material Nalophan sind in Abbildung 41 und Abbildung 42 dargestellt. Die Messungen mit Tedlar-Beuteln sind in Abbildung 43 und Abbildung 44 aufgeführt. Eine ausführliche Versuchsbeschreibung

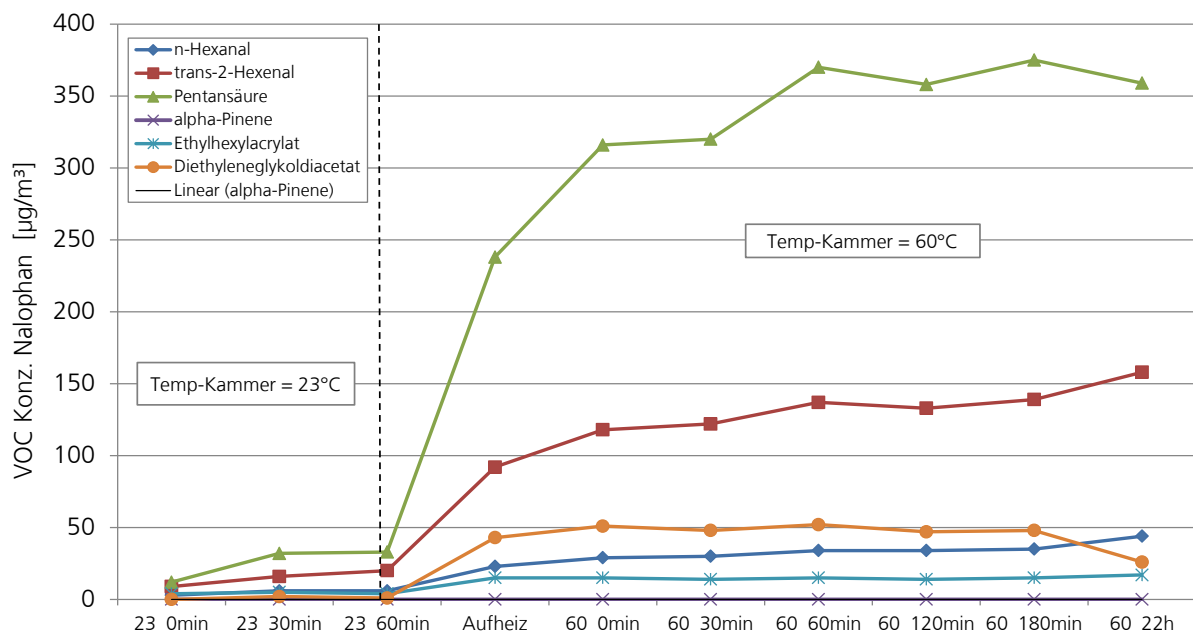


Abbildung 42: VOC-Konzentration eines mit gereinigter Pressluft gefüllten Beutels, der vorher mit einem VOC-Gemisch über 24 h gefüllt war, bei 23 °C und 60 °C.

ist in 5.5.2.2 Kapitel wiedergegeben.

In beiden Probenbeuteln zeigen die Substanzen Diethylenglykoldiacetat und Pentansäure direkt nach dem Befüllen des Probenbeutels mit dem VOC-Gemisch der Kammerluft nennenswerte Substanzverluste im Vergleich zur Kammerkonzentration. Bei der Substanz Diethylenglykoldiacetat sind die Verluste im Beutel so groß, dass die Verbindung nur noch in Spuren nachgewiesen werden konnte. Die »schnellen« Substanzverluste der beiden Komponenten sind wahrscheinlich auf Adsorptionseffekte des Beutelmaterials zurückzuführen. Die Substanzen n-Hexanal, alpha-Pinen, Ethylhexylacrylat sowie trans-2-Hexenal sind sowohl in der Kammerluft als auch in der Nalophan-Beutelluft während der gesamten Versuchsdauer auf einem ähnlichen Konzentrationsniveau detektierbar, wohingegen die vier Verbindungen im Tedlar-Beutel eine stetige Konzentrationsabnahme verzeichnen. Die Ursache für das ungleiche Abnahmeverhalten der Substanzen liegt möglicherweise an der unterschiedlichen Dichtigkeit der beiden Beutelmateriale oder der unterschiedlichen Beutelvolumina.

Daraus folgend wird bei einer indirekten Geruchsbewertung die zu bewertende Probenluft durch das Behältermaterial Nalophan und Tedlar beeinflusst. Ob der Einfluss auf Adsorptionseffekte an oder auf Diffusion durch das Beutelmateriale zurückzuführen ist, sollte der zweite Teil der Versuchsreihe (thermische Behandlung der Beutel bei 23 °C und 60 °C) klären.

In beiden Probenbeuteln (Nalophan und Tedlar) ist ein ähnliches Emissionsverhalten der Zielverbindungen bei 23 °C und 60 °C festzustellen. Bei einer Kammertemperatur von 23 °C sind geringe Restmengen der dotierten Substanzen im Probenbehälter mit gereinigter Luft nachzuweisen. Nach Erhöhung der Kammertemperatur auf 60 °C ist bei den Verbindungen Pentansäure, n-Hexanal, trans-2-Hexenal, Diethylenglykoldiacetat und

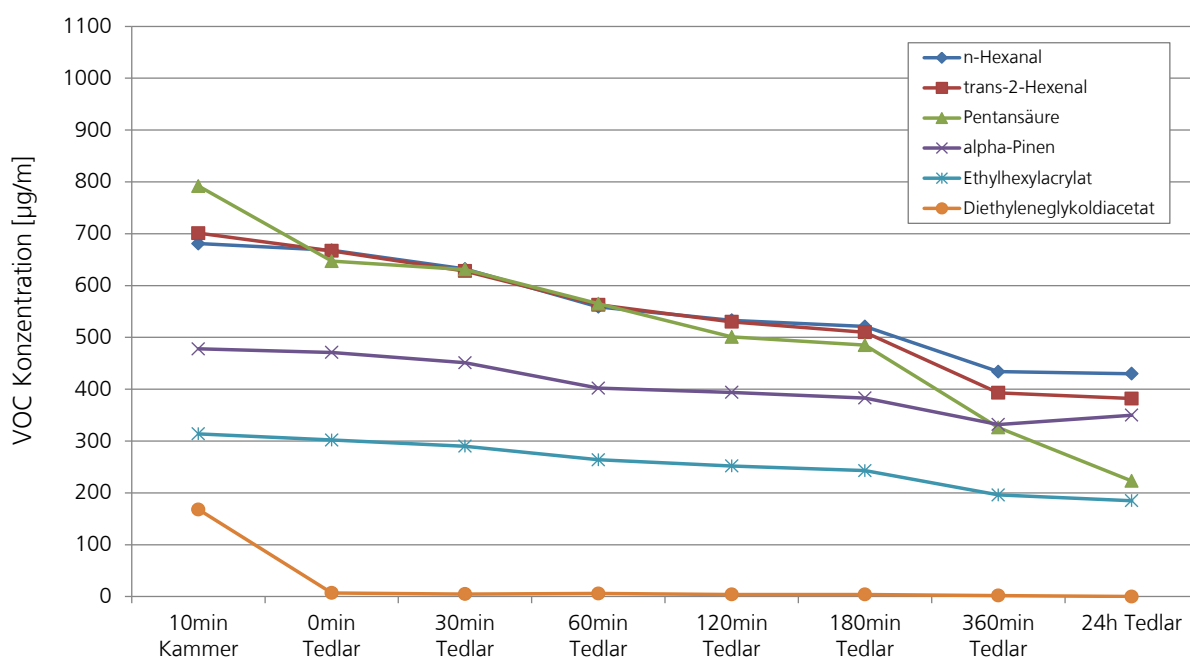


Abbildung 43: VOC-Konzentration Kammerluft/Tedlar-Beutel über 24 h – Dotierversuch.

Ethylhexylacrylat ein Konzentrationsanstieg in den Probenbeuteln (Tedlar und Nalophan) zu beobachten, wobei die Verbindungen trans-2-Hexenal und Pentansäure einen deutlichen Konzentrationsanstieg während der thermischen Belastung des Beutels bei 60 °C verzeichnen. Einzig das Terpen alpha-Pinen ist über die gesamte Versuchsdauer nur in Spuren detektierbar. Dass die Substanz Diethylenglykoldiacetat nur einen geringen Konzentrationsanstieg bei 60 °C Prüftemperatur verzeichnet, obwohl im ersten Teil des Versuchs der Konzentrationsunterschied im Beutel im Vergleich zur Kammer sehr groß war, liegt wahrscheinlich an dem relativ schwerflüchtigen Charakter der Verbindung. Wahrscheinlich würde bei einer Erhöhung der Prüfkammertemperatur > 60 °C ein größerer Konzentrationsanstieg im Probenbeutel zu beobachten sein. Allerdings wäre eine Erhöhung der Versuchstemperatur und somit auch des TENAX-TA-Probenröhrchens hier nicht zielführend, da dadurch die Adsorption der flüchtigeren Komponenten der Beutelluft im Probenröhrchen nicht mehr gewährleistet wäre und Minderbefunde für einige Substanzen sehr wahrscheinlich sind.

Dennoch zeigen diese Untersuchungen, dass Substanzen wie die Pentansäure und trans-2-Hexenal in nennenswerten Mengen an der Probenbeuteloberfläche adsorbieren und andere Substanzverluste wahrscheinlich durch Diffusion erfolgen. In jedem Fall wird jedoch die Probenluft für eine Geruchsprüfung durch die physikalischen Eigenschaften der Materialoberflächen Nalophan und Tedlar verändert. Somit sind die Materialien Nalophan und Tedlar nicht geeignet für Geruchsbewertungen von Innenraumprodukten. Gerade im Hinblick auf den derzeitigen Mangel an Datenmaterial, ob und inwieweit synergistische oder antagonistische Wechselwirkungen Einfluss auf den wahrgenommenen Geruchscharakter von Gemischen haben könnten, sollte eine Veränderung der Probenluft durch das Behältermaterial nicht zulässig sein. Hier fehlt nach wie vor das Wissen über die Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung hinsichtlich der Veränderung einer Geruchsprobe durch Konzentrationsänderungen einzelner Substanzen.

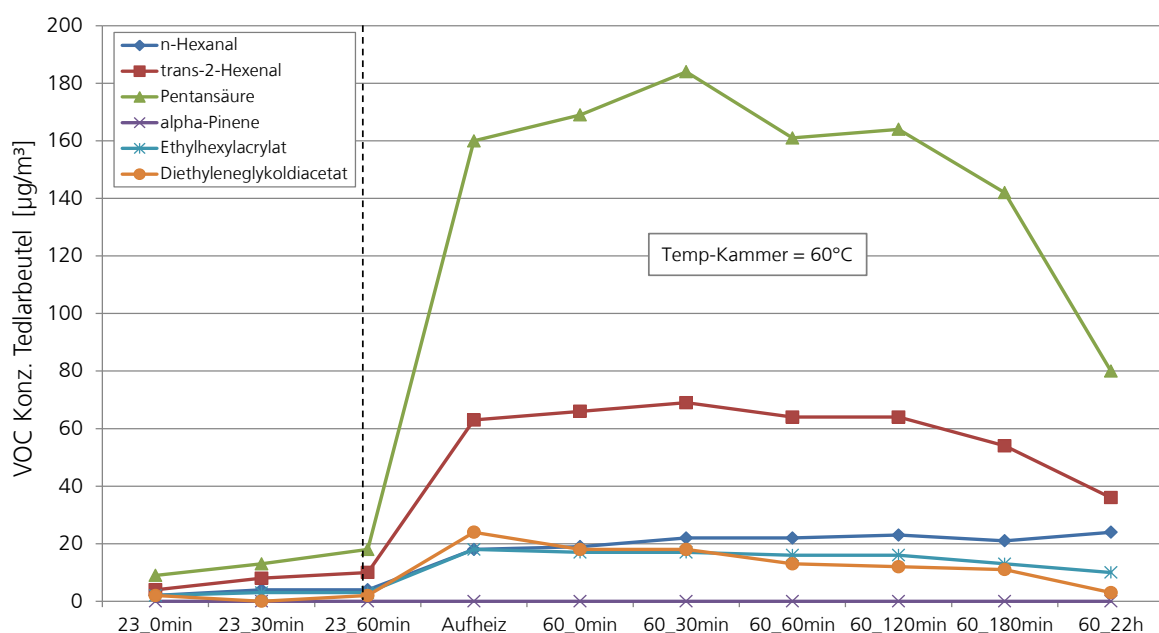


Abbildung 44: VOC-Konzentration eines mit gereinigter Pressluft gefüllten Tedlar-Beutels, der vorher mit einem VOC-Gemisch über 24 h gefüllt war, beim 23 °C und 60 °C.

Die durchgeführten Untersuchungen erfolgten in einem relativ hohen Konzentrationsbereich für geruchsaktive Substanzen. Da jedoch die Konzentrationen der geruchsrelevanten Substanzen in realen Proben oftmals in viel geringeren Mengen vorliegen, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Adsorptions- und Diffusionswirkung der Beuteloberfläche einen noch größeren Effekt auf die Probenluft und demnach auf die Geruchsempfindung der menschlichen Nase haben werden.

6.3 Blindwerte

In Abbildung 45 sind die Blindwerte von der Raumluft des Prüflabors, von Beutelluftproben sowie von Kammerluftproben dargestellt. Alle Blindwerte genügen den Anforderungen gemäß DIN ISO 16000-28 von ≤ 3 pi für das Geruchsbewertungsequipment und ≤ 4 pi für die Raumluft des Prüflabors.

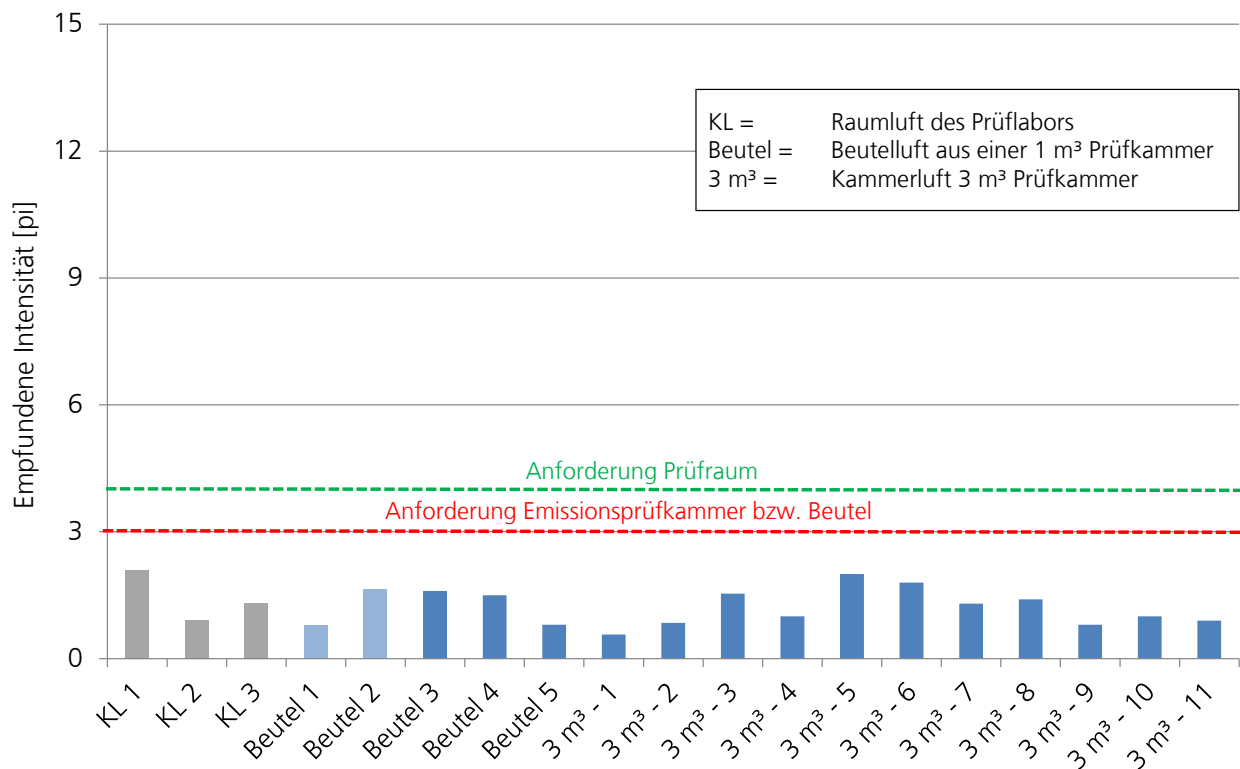


Abbildung 45: Empfundene Intensitäten von Prüfraumluft, Beutelluft und Kammerluft.

6.4 Ergebnisse der indirekten Intensitätsbewertung mit Probenbeuteln aus Nalophan und Tedlar

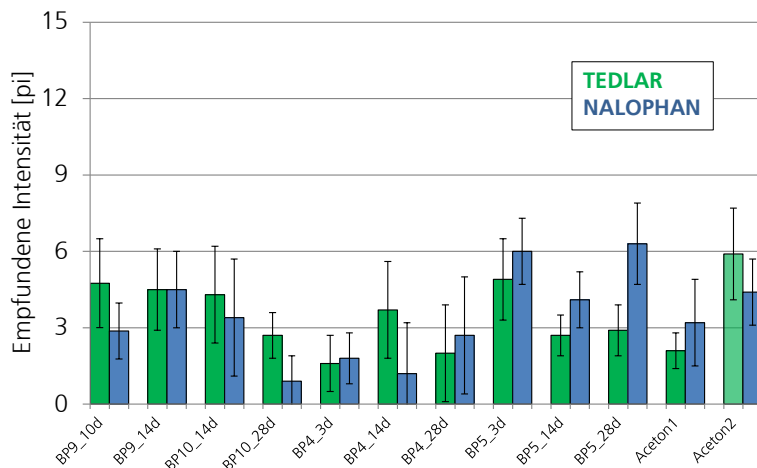


Abbildung 46: Empfundene Intensität von verschiedenen Proben, die parallel mit Beuteln aus Tedlar und Nalophan ermittelt wurden.

Die folgende Abbildung 46 zeigt die parallele indirekte Intensitätsbestimmung mit Probenbeuteln aus den Materialien Tedlar (grün) und Nalophan (blau). Die ermittelten empfundenen Intensitäten sind über die einzelnen untersuchten Proben aufgetragen. Der angegebene Fehlerindikator ist das 90%-Konfidenzintervall. Die Probanden bewerteten während einer Geruchsuntersuchung nacheinander die Probenluft in Beuteln aus Tedlar und Nalophan.

Bei fünf der insgesamt 13 untersuchten Produkte wurde bei Beuteln aus dem Material Tedlar eine höhere Geruchsintensität ermittelt. Die Abweichungen lagen in einem Bereich von 0,9 - 2,5 pi. Bei sechs Produkten lagen die mit Tedlar ermittelten Werte niedriger (pi-Bereich von 0,2 - 2,9 pi). Nur die Probe BP9_14d wurde mit Beuteln aus beiden Materialien gleich bewertet. Demnach ist bei den hier durchgeführten Untersuchungen keine Tendenz festzustellen, welches Beutelmateriale für Geruchsprüfungen besser geeignet ist.

In Abbildung 47 sind die Tedlar- und Nalophan-Beutelbewertungen im Vergleich zur direkten Bewertung dargestellt. Auch hier liegen die Geruchsintensitäten der Kammerbewertung immer höher als die Beutelluftbewertungen derselben Probe. Die Proben BP4_3d – BP4_28d wurden mit einem kleinen Trichter (Trichter A siehe Kapitel 5.5.3.2 Tabelle 6) und die Proben BP5_3d – BP5_28d mit einem großen Trichter (Trichter B Kapitel 5.5.3.2 Tabelle 6) geprüft. Auch hier ist festzustellen, dass die Verfahrensvariante der Kammer- und Beutelbewertung keine vergleichbaren Ergebnisse liefert, wie in der DIN ISO 16000-28 beschrieben.

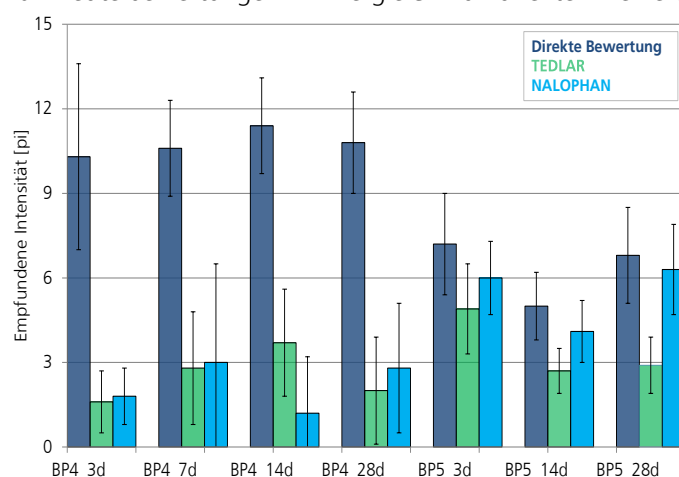


Abbildung 47: Empfundene Intensitäten von verschiedenen Proben, die parallel mit Beuteln aus Tedlar/Nalophan und direkt bewertet wurden.

6.5 Ergebnisse der Intensitätsbestimmung mit unterschiedlichen Bewertungstrichtern

Die Abbildung 48 zeigt die empfundenen Intensitäten von einer Auswahl an Bauprodukten, bei denen die indirekte Probenbewertung (Nalophan-Beutel) parallel mit einem kleinen (blau) und einem großen (grün)

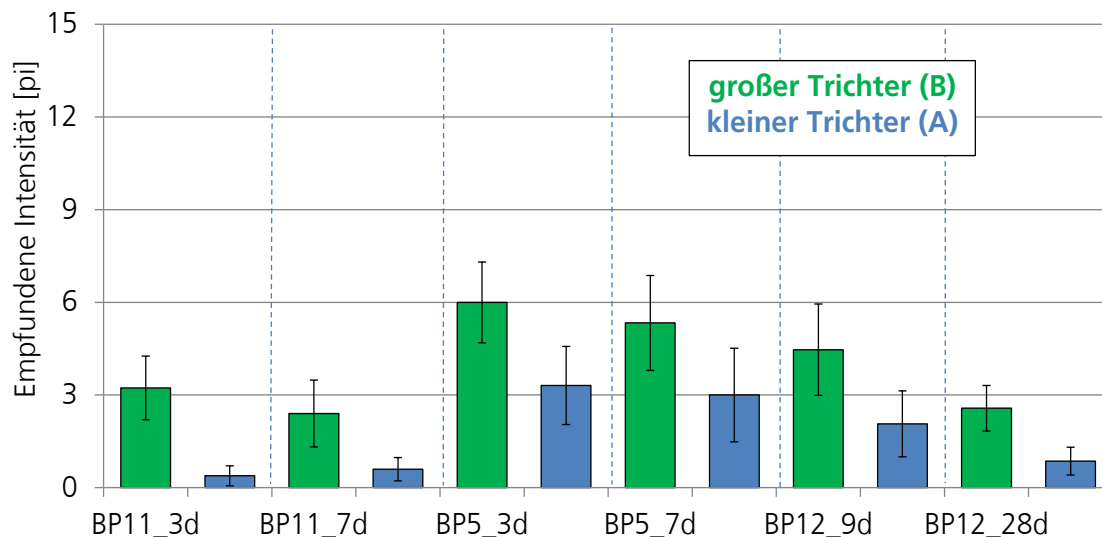


Abbildung 48: Empfundene Intensitäten mit unterschiedlichen Bewertungstrichtern.

Glastrichter durchgeführt wurde. Eine Beschreibung der Trichtermaße ist in 5.5.3.2 Tabelle 6 aufgeführt. Der dargestellte Fehlerindikator ist das 90%-Konfidenzintervall. Die Bewertungen der einzelnen Proben erfolgten so schnell wie möglich nach der Probenahme (maximal 1,5 Stunden nach Probenahme). Die einzelnen Proben (Tedlar/Nalophan) wurden nacheinander durch ein trainiertes Panel bewertet.

Die empfundenen Intensitäten der Proben, die mit dem großen Trichter B bewertet wurden, liegen immer höher als die Intensitäten der Proben, die mit den kleinen Trichtern A ermittelt wurden. Die Abweichungen liegen in einem Bereich von 1,7 - 2,8 pi. Jedoch sollte bei diesen Prüfungen beachtet werden, dass die empfundenen Intensitäten überwiegend im unteren Bereich der pi-Skala lagen. Zusätzlich müssten an dieser Stelle weitere Prüfungen erfolgen, mit Proben, die im mittleren bis oberen pi-Skalenbereich liegen.

In der Norm wird lediglich auf das Material und auf den maximalen Öffnungswinkel von 12° eines Bewertungstrichters eingegangen. Welchen Einfluss aber die Trichterlänge, der Durchmesser am Einlass und Auslass des Trichters sowie die Größe des Öffnungswinkels auf die Bewertung haben, wird nicht definiert. Die hier durchgeführten Untersuchungen sowie die Strömungsberechnungen in unterschiedlichen Bewertungstrichtern (siehe Kapitel 6.6) zeigen, dass die Trichtergeometrie einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse der empfundenen Intensität hat. Demzufolge müssen die Anforderungen hinsichtlich der Bewertungstrichter in der DIN ISO 16000-28 definierter beschrieben werden, um vergleichbare und verlässliche Ergebnisse zu erzeugen.

6.6 Strömungssimulation von Bewertungstrichtern für die Geruchsprüfung

Aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse der ermittelten empfundenen Intensitäten mit einem kleinen Trichter (A) und einem großen Trichter (B), wurden einige Strömungssimulationen mit beiden Trichterarten durchgeführt. Die dargestellten Ergebnisse sind nur eine Auswahl an Strömungsprofilen, die für diese Unter-

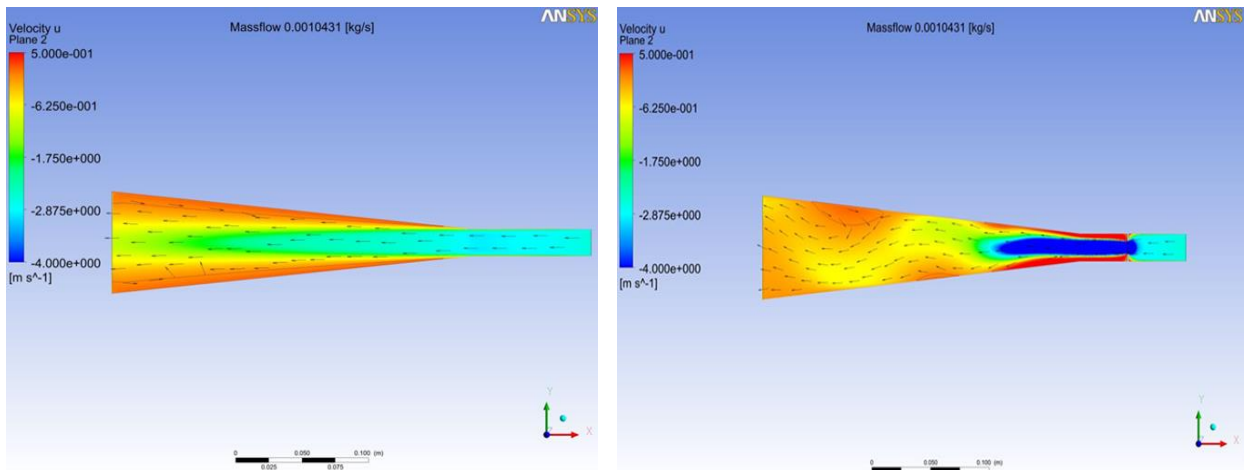


Abbildung 50: Strömungsprofile eines Trichters mit einem Volumenstrom von 0,9 l/s und unterschiedlichen Innenrohrdurchmessern. Links: Innenrohrdurchmesser 20 mm ohne Blende, Rechts: Innenrohrdurchmesser 20 mm mit Blende 10 mm.

suchungen relevant waren. Weitere Ergebnisse und Erkenntnisse hinsichtlich des Strömungsverhaltens von Bewertungstrichtern für Geruchsuntersuchungen sind in der Doktorarbeit von Jennifer Bartsch (Bartsch 2016), die derzeit am WKI angefertigt wird, aufgeführt. Ein wichtiger Aspekt bei einem Vergleichsmaßstab ist das Strömungsverhalten des Aceton-Luftgemischs. Ziel sollte eine möglichst gleichmäßige gut durchmischte

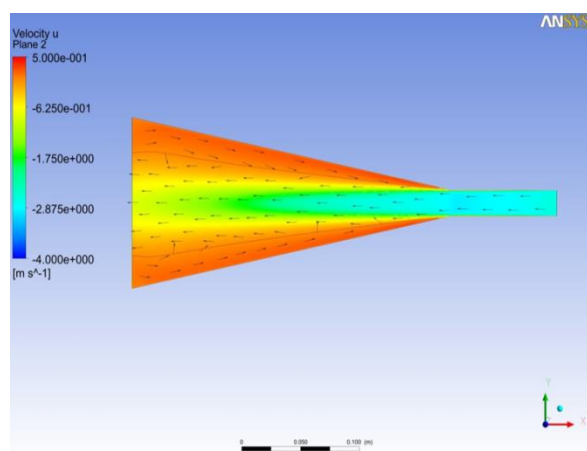


Abbildung 49: Strömungsprofile eines kleinen Trichters mit einem Volumenstrom von 0,9 l/s.

Strömung sein, damit der Proband die Intensität der Probenluft bestimmen kann. Die Strömungsverhältnisse am Ausgang des Trichters sollten berechnet werden. Aufgrund des geringeren Rechenaufwands wurde sich für eine stationäre Strömungsberechnung entschieden. Die Abbildung 50 (linkes Bild) zeigt die Durchströmung des Trichters (Geschwindigkeitsdarstellung in einer Ebene) mit einem Volumenstrom von 54 L/min (0,9 l/s). Die Zudosierung von Aceton wurde nicht berücksichtigt, da der Volumenstrom vernachlässigbar klein ist. Die Länge vor der Erweiterung entspricht der Länge des Rohrs nach dem letzten Element des statischen Mischers.

Anhand der Vektoren ist eine Strömungsablösung an der Grenzfläche bei der Rohrerweiterung zu erkennen.

Diese geht soweit, dass wahrscheinlich ein Rückstromgebiet am Trichterrand entsteht und vermutlich, obwohl der Öffnungswinkel mit 6° recht klein gewählt wurde (Ritschel et al, 2008), über die Bauweise dennoch Umgebungsluft von außen eindringen kann und sich somit mit der Probenluft mischt. In der Mitte des Trichters ist die Strömungsgeschwindigkeit am stabilsten. Abbildung 50 (rechtes Bild) zeigt ebenfalls die Durchströmung des Trichters mit einer Blende vor der Rohrerweiterung (nach dem Rohrstück im Mischrohr ohne Mischelement). Im aktuellen Aufbau des Vergleichsmaßstabs wird eine Blende mit einer Weite von 10 mm verwendet, um eine bessere Durchmischung zu erreichen.

In der Abbildung 50 (rechts) ist die höhere Turbulenz als bei der Messung ohne Blende (links) gut zu erkennen. Da stationär gerechnet wurde, sind die Abbildungen nur Momentaufnahmen. Es scheint, als würde eine gute Durchmischung mit der Blende erreicht werden, und die Rückstromgebiete am Rand sind deutlich geringer. Wahrscheinlich ist bis zum Trichterende aber noch kein Ausgleich der Strömung erreicht, was die Momentaufnahmen zeigen. In den Darstellungen des Trichters ist das hin und her »Wabern« der Strömung zu erkennen. Anhand der Vektoren sind Totgebiete im Bereich der Rohrerweiterung zu erkennen.

In Abbildung 49 ist das Strömungsprofil eines kleinen Trichters (A) dargestellt. Der Trichter hat normkonform einen Öffnungswinkel von 12° , allerdings nur eine Länge von 310 mm. In der Mitte des Trichters ist die Strömung schon fast »strahlenartig«, mit großen Rückstromgebieten am Rande des Trichters zu erkennen. Bei dieser Art von Trichter muss der Proband die Nase genau in der Mitte des Trichters platzieren, um Probenluft bewerten zu können. Darüber hinaus bilden sich große Rückstromgebiete, so dass hier die Verunreinigung der Probenluft durch Umgebungsluft sehr wahrscheinlich ist. Minderbefunde bei einer Geruchsbewertung mit einem kleinen Bewertungstrichter (siehe Abbildung 49) sind unter anderen Aspekten, wie Adsorptionseffekte und/oder Dichtigkeit des Beutelmaterials, sehr wahrscheinlich.

Die oben beschriebenen Untersuchungen wurden mit einem Simulationsprogramm durchgeführt und sind

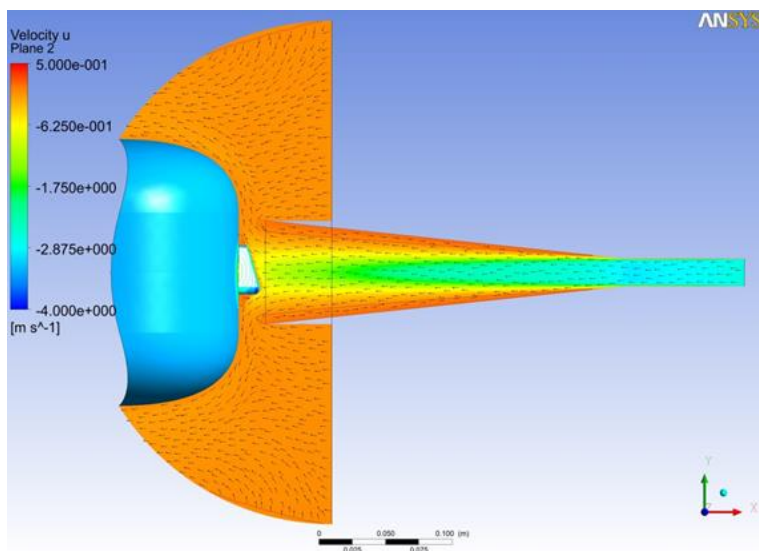


Abbildung 51: Darstellung der Geschwindigkeitsvektoren mit Kopf vor dem Trichter

sicherlich nicht eins zu eins auf die Realität übertragbar. Dennoch zeigen die Strömungssimulationen, dass die Trichterform und die damit verbundenen Strömungsänderungen einen Einfluss auf die Geruchsbewertung von Produkten haben können.

Es sollte auch das Strömungsverhalten „mit Kopf“ betrachtet werden. Für den Trichter wurde mit einem feineren Rechenetz gerechnet, das große Volumen mit einem deutlich größeren Netz, da der Rechenaufwand sonst zu groß gewesen wäre und das zweite Volumen nur für die Darstellung des Kopfes gewählt wurde. Diese Vereinfachung der

Berechnung ist am äußeren Rand des Trichters zu erkennen. Allerdings ist der Bereich für die Strömungsdarstellung für die gewählte Darstellung der Strömungssituation zwischen „Kopf“ und Trichter nicht so relevant. Generell sollte das Rechengebiet nur so groß wie nötig gewählt werden (Lecheler, 2014). Abbildung 51 zeigt die Darstellung der Geschwindigkeitsvektoren „Kopf mit Trichter“.

Durch die verschiedenen Darstellungen kann gezeigt werden, dass es keinen entscheidenden Unterschied macht, ob man sich mit dem Kopf vor dem Trichter befindet oder die Aceton/Luftmischung frei ausströmt. Die Durchmischung ist der Berechnung ohne „Kopf“ sehr ähnlich. An den Rändern innerhalb des Trichters kann ebenfalls ein Rückstromgebiet auftreten und in der Mitte des Trichters scheint auch weiterhin die Strömung am stabilsten.

6.7 Empfundene Intensität von Acetonproben

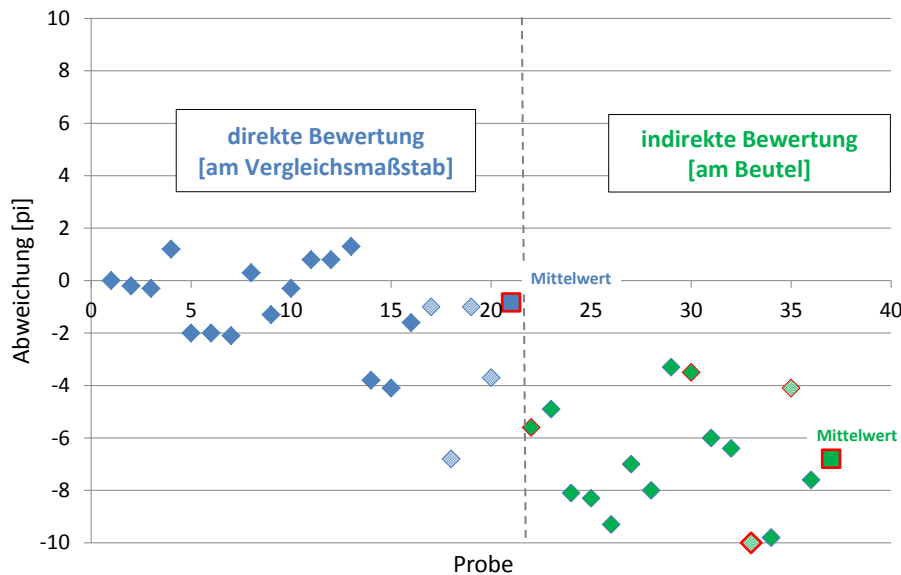


Abbildung 52: Abweichungen der empfundenen Intensitäten von Acetonproben - direkte (am Vergleichsmaßstab) und indirekte (Beutel) Bewertung.

In diesem Abschnitt sollten ursprünglich die Einflüsse von trockenen und feuchten Acetonproben im Hinblick auf die empfundene Intensität dargestellt werden. Die Untersuchungen konnten aufgrund der Wasserdurchlässigkeit der Probenbeutel nicht durchgeführt werden. Dennoch wurden die Ergebnisse unter dem Aspekt der direkten und indirekten Bewertung von Acetonproben betrachtet. In Abbildung 52 sind die Geruchsintensitäten von Aceton-

proben als Abweichung vom eingestellten Sollwert aufgeführt. Die Datenpunkte setzten sich aus Acetonbewertungen, die direkt am Vergleichsmaßstab ermittelt wurden (blau), und Bewertungen von Acetonproben, die den Testpersonen über Beutel dargeboten wurden (grün), zusammen. Blau schraffiert dargestellt sind die Ergebnisse, die an einem kommerziellen Vergleichsmaßstab bewertet wurden. Die Unterschiede der beiden VM sind in Kapitel 5.5.5 beschrieben. Mit dieser Bewertungsvariante konnten nur 4 Bewertungen durchgeführt werden, da der kommerzielle VM einen starken Eigengeruch aufwies. Die Probenbeutel für die indirekte Bewertung waren überwiegend aus dem Material Nalophan. Zwei Acetonproben (grün schraffiert) wurden den Testpersonen in Beuteln aus Tedlar angeboten.

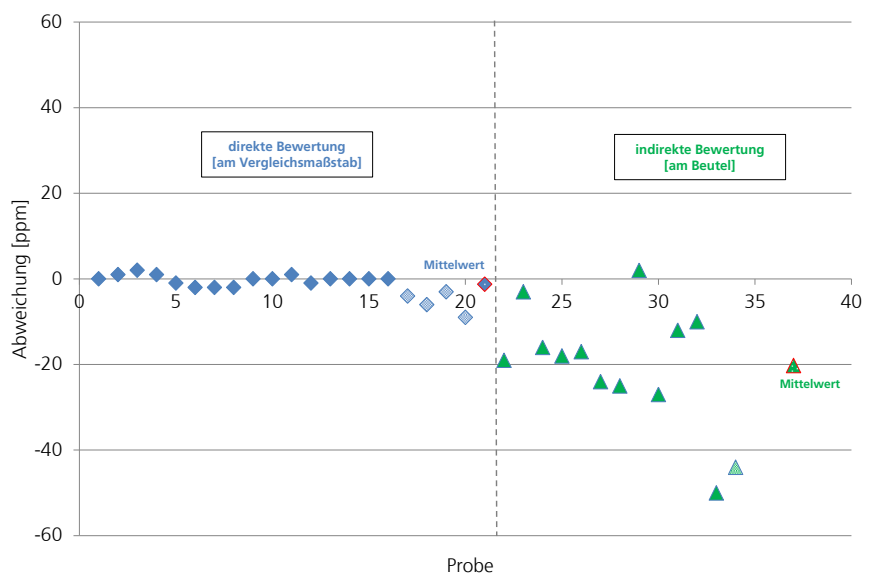


Abbildung 53: Abweichungen der eingestellten (Sollwert) Acetonkonzentration [ppm] zur Konz. und Bewertung - direkt und indirekt.

Die Abweichung der Messwerte von den Sollwerten der direkt bewerteten Acetonproben am Vergleichsmaßstab liegt im Mittel bei -1 pi. Zudem bewegen sich die Werte sowohl im negativen als auch positiven Bereich. Die indirekt über die Beutel bewerteten Acetonproben zeigen immer Minderbefunde auf. Die geringste Abweichung liegt bei -3 pi und die höchste Abweichung bei -10 pi. Der Mittelwert der indirekt bewerteten Acetonproben ist -7 pi. Aufgrund der hohen Abweichungen wurden von den Acetonproben, soweit möglich, die Aceton-Konzentrationen vor und nach der Bewertung mittels FID bestimmt. Die Acetonkonzentrationen in ppm vor und nach der Acetonprobenbewertung durch die Probanden, als Abweichung dargestellt, sind in Abbildung 53 zusammengefasst. Die gemessenen Acetonkonzentrationen am VM (blau) vor und nach der Geruchsbewertung zeigen ein ähnliches Verhalten, wie auch die empfundenen Intensitäten der direkt am VM ermittelten Daten, und bewegen sich vor und nach der Prüfung in einem konstanten Konzentrationsbereich (Mittelwert -1,25 ppm). Die am Beutel ermittelten Differenzen der Aceton-Konzentration (grün) hingegen liegen im Mittel bei -20 ppm. Die niedrigste Abweichung war -3 ppm und die höchste -50 ppm. Grün schraffiert dargestellt ist die Abweichung der Aceton-Konzentration in einem Tedlarbeutel. Vergleicht man die Konzentrationsabweichungen mit den empfundenen Intensitäten der Beutelproben, so sind die Minderbefunde der Geruchsintensitätsbestimmung teilweise mit den geringeren Aceton-Konzentrationen im Beutel nach der Geruchsbewertung zu erklären. Dennoch sind die Minderbefunde der empfundenen Intensität der Beutelproben höher als erwartet, vergleicht man die

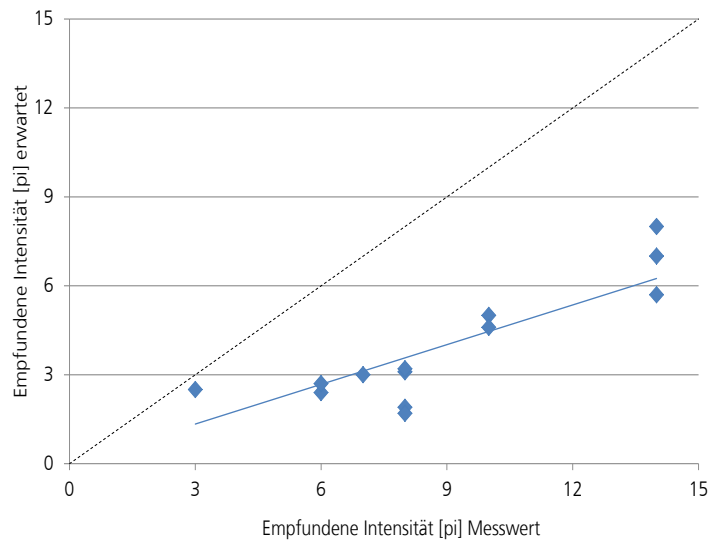


Abbildung 55: Empfundene Intensität von Acetonproben – erwarteter Wert vs. bewerteter Wert



Abbildung 54: Beuteladapter mit Teflonröhrchen für die indirekte Geruchsbewertung. Links: schmaler Durchmesser (8 mm). Rechts: großer Durchmesser (12 mm).

Aceton-Konzentrationen (FID-Messwerte) der Beutelluftproben nach der Geruchsbewertung mit den Werten der empfundenen Intensität. In Abbildung 55 sind die »erwarteten« empfundenen Intensitäten im Vergleich zu den bewerteten Intensitäten der Acetonbeutelluft aufgetragen. Die »erwartete« Geruchsintensität jeder Probe wurde mit der gemessenen Aceton-Konzentration (FID) nach der Bewertung ermittelt. Auch hier sind nach wie vor Minderbefunde bei der Bestimmung der empfundenen Intensität zu verzeichnen. Würden die Werte untereinander vergleichbar sein, so müssten die Geruchsintensitäten auf der gestrichelten Linie liegen.

Ein möglicher Einflussfaktor für die Minderbefunde könnte der relativ geringe Durchmesser (8 mm) der Teflonröhrchen am Probenbeutel sein. Durch eine Erweiterung des Röhrchendurchmessers am Beutel sollte die Strömungsgeschwindigkeit der Luft verringert werden, so dass die Strömung besser an der Trichterwand anliegt und die Probenluft im Trichter besser verteilt wird. Deshalb wurden fünf Acetonproben mit einem größeren Teflonrohrdurchmesser (12 mm) und erweiterten Adapter bewertet (siehe Abbildung 54). Die Intensitäten (Sollwert) der Acetonproben lagen zwischen 10 - 15 pi. Die Untersuchung der Proben mit dem erweiterten Adapter (Röhrchendurchmesser = 12 mm) ergaben Abweichungen vom Sollwert von -3 bis -10 pi. Vergleicht man die Untersuchungen der Beutel mit 8 mm und 12 mm Röhrchendurchmesser, so sieht man im Hinblick auf die Bewertung der Geruchsintensitäten keinerlei Veränderung. Daraus folgend hatte bei diesen Prüfungen die Erweiterung des Durchmessers der Teflonröhrchen am Beutel keinen Einfluss auf die Geruchswahrnehmung der Testpersonen.

Demnach konnte mit keinen der hier durchgeführten Untersuchungen der Grund der Minderbefunde der indirekt bewerteten Acetonproben in Beuteln ermittelt werden.

6.8 Bestimmung der rel. Luftfeuchte im Probenbeutel für die Geruchsbewertung

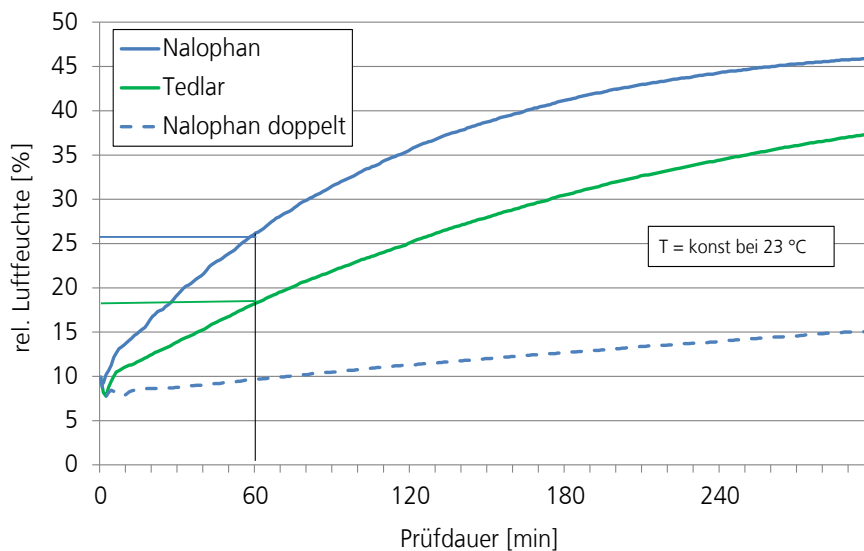


Abbildung 56: Rel. Luftfeuchte von Luft in Nalophan- und Tedlar-Probenbeutel über die Zeit.

Beutelmaterialeien für die Geruchsbewertung sollen gemäß DIN ISO 16000-28 luftdicht und undurchlässig sein. Aufgrund der Versuche aus vorangegangem Kapitel 6.7 wurden zu dieser Anforderung gemäß Norm nochmals gezieltere Untersuchungen im Hinblick auf das Feuchteverhalten der Probenluft im Beutel durchgeführt. Hierzu wurden Probenbeutel mit nahezu trockener Luft (~ 10 % rel. Luftfeuchte) befüllt und

über einen definierten Zeitraum unter konstanten klimatischen Bedingungen gelagert (siehe 5.5.7).

In Abbildung 56 sind die Feuchteverläufe von mit Luft befüllten Nalophan- und Tedlar-Beutel dargestellt. Bei allen Proben nimmt die Luft im Beutel Feuchtigkeit auf. Nach 60 min hat die Luft im Nalophan-Beutel (einfach) bereits eine Luftfeuchte von ~ 26 % erreicht, im Tedlar-Beutel ~ 18 % und im doppelten Nalophan-Beutel ~ 10 % rel. Feuchte. Nach 120 min sind die Werte im Nalophan-Beutel auf ~ 35 % gestiegen, im Tedlar-Beutel auf ~ 25 % und im doppelten Nalophan-Beutel auf ~ 12 %. Die Bewertung der Beutelluft erfolgte am WKI ungefähr 60 – 90 min nach Probenahme. Für die indirekte Bewertung der Probe bedeutet dies, dass sich die Luft im Beutel aufgrund von Feuchteaufnahme bzw. -abnahme der Probenluft verändert. Die Aufnahme oder Abnahme der rel. Luftfeuchtigkeit im Beutel ist einerseits davon abhängig, welche Luftfeuchtigkeit die zu bewertende Probe vorher in der Kammer hatte, andererseits, welche rel. Luftfeuchtigkeit im Prüfraum bzw. in der Umgebung, in der die Geruchsbewertung stattfindet, vorherrscht. Zudem sind bislang die Zusammenhänge zwischen der Luftfeuchtigkeit und der Geruchswahrnehmung noch nicht vollständig geklärt. Welchen Einfluss hat die Veränderung der Luftfeuchtigkeit auf die Geruchswahrnehmung sowie die Größenordnungen, ab welchem Wert treten Veränderungen bei der Geruchswahrnehmung auf? Weiterhin ist anzunehmen, dass sich die Beutelluft durch den Eintrag von Außenluft verdünnt. Daraus folgend bewerten die Testpersonen nicht mehr die ursprüngliche Probenluft, sondern eine in ihrer Konzentration verringerten Geruchsprobe.

Die Anforderung gemäß DIN ISO 16000-28, luftdichte und undurchlässige Beutelmaterialeien für die Geruchsprüfung zu benutzen, konnte mit Beuteln aus dem Material Nalophan und Tedlar nicht eingehalten werden.

6.9 Wasserdampfdurchlässigkeit von Nalophan und Tedlar

Die Wasserdampfdurchlässigkeit (s_d -Wert) beschreibt den Diffusionswiderstand einer Bauteilschicht. Sie wird angegeben durch die Dicke einer Luftschicht, die den gleichen Widerstand hat. Der s_d -Wert ist das Produkt aus der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ und der Dicke des betrachteten Materials.

Folgende Kategorien werden unterschieden:

diffusionsoffen ($s_d \leq 0,5 \text{ m}$)

diffusionshemmend ($0,5 \text{ m} < s_d < 1500 \text{ m}$)

diffusionsdicht ($s_d \geq 1500 \text{ m}$)

Tabelle 18: Wasserdampf-Durchlässigkeit und -Diffusionswiderstandszahl von Nalophan und Tedlar.

Material	$s_d \text{ [m]}$	$\mu \text{ [dimensionslos]}$
	Mittelwert	
Nalophan	3,361	168074
Tedlar	7,584	97649

s_d = wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke
 μ = Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl

Beide Materialien sind mit einer Wasserdampfdurchlässigkeit von 3,361 m für Nalophan und 7,584 m für Tedlar in die Kategorie diffusionshemmend ($0,5 \text{ m} < s_d < 1500 \text{ m}$) einzustufen. Dabei wirkt Tedlar mit einer Materialdicke von 50 μm diffusionshemmender hinsichtlich Wasserdampf als Nalophan (Materialdicke von 20 μm). Vergleicht man die Ergebnisse der Feuchtebestimmung in Tedlar- und Nalophan-Beutel (Kapitel 6.8) mit den Ergebnissen der Wasserdampfdurchlässigkeit, so wird hier bestätigt, dass Tedlar-Beutel weniger wasserdampfdurchlässig sind als Beutel aus Nalophan in den hier verwendeten Materialstärken.

6.10 Bestimmung von Aceton

Ein wesentlicher Faktor, um verlässliche und vergleichbare Geruchsintensitäten zu ermitteln, ist die Bestimmung der absoluten Aceton-Konzentration an den jeweiligen pi-Bewertungsstufen des Vergleichsmaßstabs. Gemäß der DIN ISO 16000-28 sind keine Regelungen aufgeführt, um die Aceton-Konzentration der jeweiligen pi-Stufen zu ermitteln. Es wird lediglich nur eine Abweichung von 0,5 pi (10 mg/m^3) an der jeweiligen pi-Stufe des Vergleichsmaßstab (VM) definiert. Beispielsweise fehlen in der Norm Anforderungen, wie und mit welcher Art von Messgerät die Aceton-Konzentration bestimmt werden soll. Um aber Messwerte zu erzeugen, die auch vergleichbar mit anderen Laboren sind, war dies ein wesentlicher Aspekt bei der Evaluierung dieses Geruchsbewertungsverfahrens.

In den folgenden Abschnitten wurden Untersuchungen mit verschiedenen Messverfahren durchgeführt sowie zwei verschiedene Messvarianten eines Messgeräts (FID) aufgezeigt. Eine ausführliche Versuchsbeschreibung befindet sich in Kapitel 5.3.8.

6.10.1 Bestimmung von Aceton mit verschiedenen Messverfahren

Im folgenden Kapitel wurde die Aceton-Konzentration in einem Nalophan-Beutel mit drei verschiedenen Messverfahren und fünf verschiedenen Messgeräten bestimmt. Die Aceton-Konzentration im Beutel betrug ~ 120 mg/m³ (48 ppm).

Folgende Analysengeräte/Messverfahren wurden verwendet:

- Sammelmedium DNPH-Kartusche, Analysengerät HPLC/UV
- Flammenionisationsdetektor (FID_{Propan}) kalibriert auf Propan
- 2 Fotoakustikdetektoren (PAD_{Propan}) kalibriert auf Propan
- 1 Fotoakustikdetektor (PAD_{Toluen}) kalibriert auf Toluol

Die einzelnen Geräte/Kartuschen wurden so schnell wie möglich an den Beutel angeschlossen, und die Aceton-Konzentrationen wurden bestimmt.

In Tabelle 19 sind die prozentualen Abweichungen der verschiedenen Messverfahren aufgelistet. Die Acetonbestimmung mittels der HPLC-UV-Methode wurde als Bezugskonzentration definiert. Die Ergebnisse der anderen Messverfahren wurden mit dem Ergebnis verglichen und die Abweichungen davon ermittelt. Die Werte, die mit dem FID und dem auf Toluol kalibrierten Fotoakustikdetektor ermittelten wurden, stimmten mit einer Abweichung von ~ 30 % am besten mit der definierten Bezugskonzentration überein. Darüber hinaus wurden zwei mit Propan kalibrierte Fotoakustikdetektoren für die Konzentrationsbestimmungen genutzt. Die Abweichungen lagen bei 57 und 82 % zur Bezugskonzentration. Untereinander hatten die beiden Geräte mit demselben Messprinzip und gleicher Kalibrierung einen Messunterschied von 25 %.

Tabelle 19: Aceton-Konzentrationsbestimmung mit verschiedenen Messprinzipien.

Messmethode	Konzentration [mg/m ³]	Abweichung [%]	Abweichung [pi]
HPLC-UV	120		5
FID _{Propan_calculatedACETON}	88	-27	0,6
Fotoakustikmonitor1 _{PROPAN}	52	-57	2,4
Fotoakustikmonitor2 _{PROPAN}	22	-82	3,9
Fotoakustikmonitor2 _{Toluol}	78	-35	1,1

In der Einheit der empfundenen Intensität ausgedrückt, die definitionsgemäß 1 pi = 20 mg/m³ Aceton gemäß Norm entspricht, bedeutet die größte prozentuale Abweichung (82 %) 3,9 pi, ausgegangen von der Be-

zugskonzentration von 120 mg/m^3 . Die geringste Abweichung, mit einem FID ermittelt, lag bei 0,6 pi. Vergleicht man beide Photoakustikdetektoren mit der gleichen Propankalibrierung im Hinblick auf den absoluten pi-Wert, ergibt dies eine Abweichung von 1,5 pi (30 mg/m^3). Gerade im Hinblick auf die in der Norm angegebene Anforderung, dass eine maximale Abweichung der Aceton-Konzentration an jeder Bewertungsstufe von 0,5 pi erlaubt ist, liegen die ermittelten Daten mit den unterschiedlichen Messmethoden außerhalb der Anforderungen.

Darüber hinaus sind keine Anforderungen in der Norm aufgeführt, die ein Messverfahren zur Aceton-Konzentrationsbestimmung vorschreiben. Demnach können derzeit die Aceton-Konzentrationen in den einzelnen Prüfinstitutionen, je nach Wahl der Messmethode, unter »Worst-Case«-Bedingungen bis zu 4 pi voneinander abweichen.

6.10.2 Bestimmung von Aceton mittels FID

Die Bestimmung von Aceton am WKI-Vergleichsmaßstab erfolgt mit einem Flammenionisationsdetektor. Es wurde arbeitstäglich die Aceton-Konzentration an jeder pi-Stufe (0 – 3 – 6 – 9 – 12 pi und zwei unbekannte

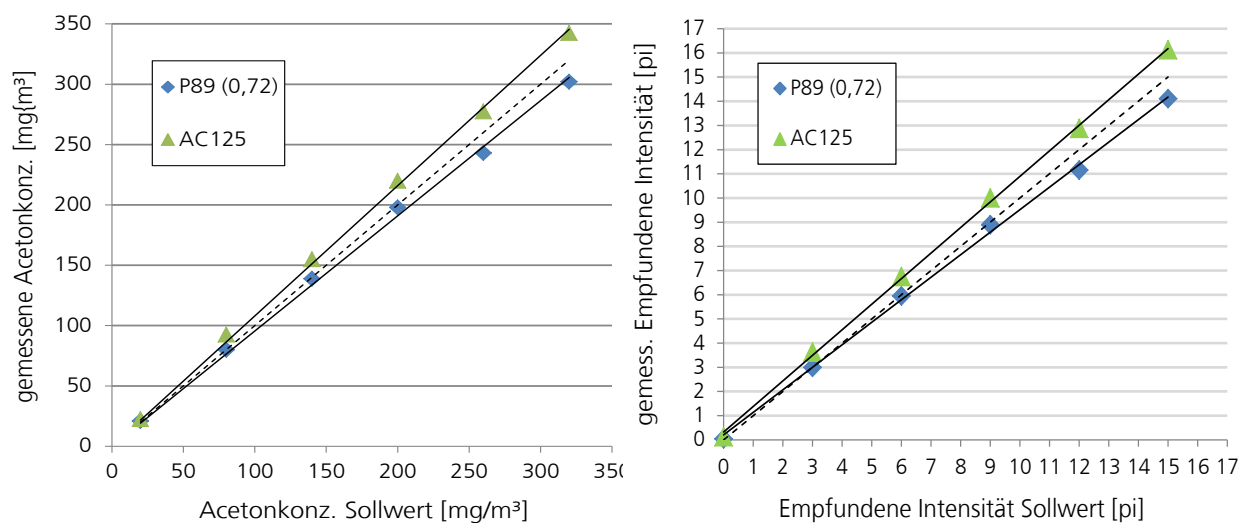


Abbildung 57: Links: Kalibriergeraden von Aceton mit einem FID bestimmt. Rechts: Berechnete Intensität vs. Intensität Sollwert. Grün: Kalibrierigas Aceton 125 ppm, Blau: Kalibrierigas Propan 89 ppm.

pi-Stufen) des Vergleichsmaßstabs bestimmt. Zu Beginn der Untersuchungen wurde der FID mit Propangas (98 ppm) kalibriert. Die ermittelten Konzentrationen wurden mit dem vom Gerätehersteller angegebenen Umrechnungsfaktor von 0,72 auf Aceton umgerechnet. Um Fehlerquellen durch Umrechnungsfaktoren zu minimieren, wurde der FID zu einem späteren Zeitpunkt mit einem Acetonprüfgas (125 ppm) kalibriert. In Abbildung 57 sind beide Kalibriergeraden (Aceton- und Propanprüfgas) dargestellt. Die gestrichelte Linie stellt die Sollwerte der pi-Skala in mg/m^3 dar.

Vergleicht man die Konzentrationen beider Kalibriergeraden, so weichen die einzelnen Werte voneinander ab. Die größte Abweichung liegt bei 40 mg/m^3 und die niedrigste bei 2 mg/m^3 (Abbildung 57). Umgerechnet auf die empfundene Intensität (pi) liegt die maximale Abweichung bei 2 pi, die minimale bei 0,1 pi und im Mittel bei 1 pi (Abbildung 57). Daraus folgend kann es bereits innerhalb eines Labors, je nachdem mit welchem Prüfgas das Messgerät kalibriert wurde, eine mittlere Abweichung von 1 pi an den einzelnen Bewertungsstufen des Vergleichsmaßstabs geben.



Abbildung 58: Messstutzen des FIDs am Trichter des Vergleichsmaßstabs.

Ein weiterer wesentlicher Punkt bei der Bestimmung von Aceton am Bewertungstrichter ist die Position des Messstutzens am Trichterauslass. Da die Strömung am Trichterauslass turbulent ist, schwanken die Aceton-Konzentrationen je nach Position des Messstutzens (Trichterrand- oder -mitte). Deshalb ist es wichtig, eine Position für einen Messstutzen zu definieren, um auch hier sicherzustellen, dass die Bestimmung der Aceton-Konzentration bei den einzelnen Laboren unter gleichen Bedingungen erfolgt.

6.10.3 Ergebnisse der Aceton-Vergleichsmessungen mittels PID und FID

Während des Forschungsvorhabens wurden die Acetonkonzentrationen am WKI-Vergleichsmaßstab mit einem PID (Photoionisationsdetektor) vom Bremer Umweltinstitut (BRUMI) und parallel mit dem WKI-FID bestimmt. Der zur Verfügung gestellte PID wird zur arbeitstäglichen Einstellung des BRUMI-Vergleichsmaßstabs genutzt. Zudem wurde mit beiden Geräten die Konzentration von zwei Acetonprüfgasen in Stickstoff ermittelt ($150/300 \text{ mg/m}^3$ Aceton in N_2). Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abbildung 59 dargestellt. Die Messwerte, die am WKI-Vergleichsmaßstab ermittelt wurden, sowie die Abweichungen beider Messgeräte sind in Tabelle 20 dargestellt.

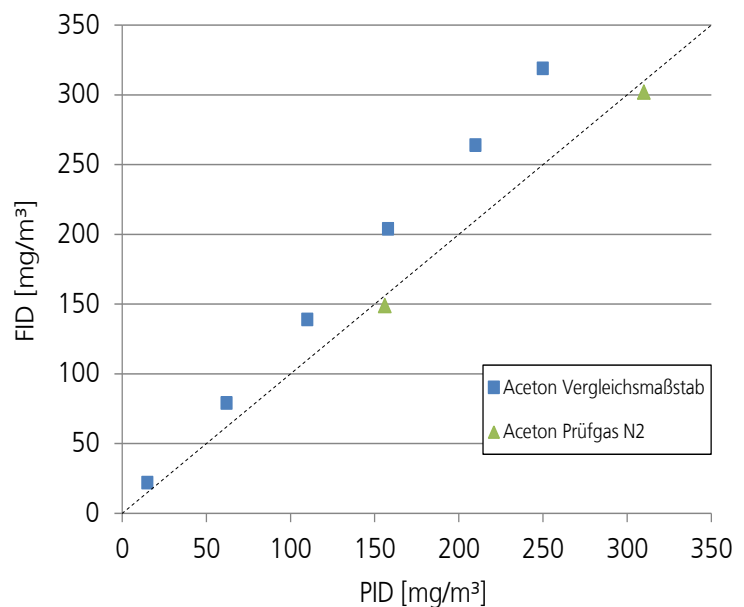


Abbildung 59: Acetonkonzentration FID vs. PID.

Die Aceton-Konzentrationen, die am Vergleichsmaßstab ($20\text{--}320 \text{ mg/m}^3$) über den PID ermittelt wurden, lagen immer unter den Messwerten des WKI-FID (Abweichung $\sim 21\text{--}32 \%$). Umgerechnet auf die empfundene Intensität [pi] liegt die minimale Abweichung einer Bewertungsstufe bei -0,4 pi. Die maximale Abweichung beträgt -3,5 pi. D.h., dass auch hier große Unterschiede bei der Konzentrationseinstellung auftraten.

ten, je nachdem mit welchem Messgerät die Bewertungsstufen eingestellt werden. Unter Worst-Case-Bedingungen kann sich somit die Bewertung einer Probe um 3,5 pi im Endergebnis unterscheiden.

Bei der Bestimmung der beiden Aceton-Prüfgaskonzentrationen hingegen liegen die PID-Messwerte nur geringfügig über den Werten des FIDs (Abweichung ~ 3-5 %). Eine Abweichung von 3-5 % liegt in einem akzeptablen Bereich für eine Konzentrationsbestimmung mit Analysengeräten, deren Funktion auf unterschiedlichen Messprinzipien basiert.

Die unterschiedlichen Messwerte am VM sind wahrscheinlich zum einen auf die Sauerstoff-Querempfindlichkeit des FIDs zurückzuführen und zum anderen auf die Feuchtekompensation des PIDs.

Wie auch schon in den Kapiteln 6.10.1 und 6.10.2 zur Acetonbestimmung diskutiert, zeigen die Untersuchungen mit zwei verschiedenen Messgeräten zur Aceton-Bestimmung, dass die Festlegung einer Aceton-Messmethode unabdingbar ist, um möglichst gleiche Acetonkonzentrationen an den jeweiligen pi-Stufen von Vergleichsmaßstäben zu erhalten.

Eine Überarbeitung der DIN ISO 16000-28 hinsichtlich der Bestimmung von Aceton an den pi-Bewertungsstufen aus Sicht der hier ermittelten Werte ist ein wichtiger Punkt, um vergleichbare Geruchsintensitätsergebnisse unter den einzelnen Prüfinstituten zu ermitteln.

Tabelle 20: Ergebnisse der Aceton-Bestimmung am WKI-Vergleichsmaßstab mit einem PID und FID.

	Messpunkt am Vergleichsmaßstab [pi]					
	0	3	6	9	12	15
Messwerte PID [mg/m³]	15	62	110	158	210	250
Ermittelte Pi-Stufe PID	-0,3	2,1	4,5	6,9	9,5	11,5
Messwerte FID [mg/m³]	22	79	139	204	264	319
Ermittelte PI-Stufe FID	0,1	3,0	6,0	9,2	12,2	15,0
Abweichung [mg/m³]	-7	-17	-29	-46	-54	-69
Abweichung [%]	-32	-22	-21	-23	-20	-22
Abweichung [pi]	-0,4	-0,9	-1,5	-2,3	-2,7	-3,5

6.11 Statistische Untersuchung der Effektivität der Aceton-Leistungsprüfung

Geruchsintensitätsbewertungen gemäß DIN ISO 16000-28 dürfen nur Testpersonen durchführen, die die arbeitstägliche Aceton-Leistungsprüfung erfolgreich bestanden haben. Die Überprüfung erfolgt vor der Bewertung der Geruchsproben. Jeder Proband muss zwei unbekannte Acetonproben bewerten. Wenn die Probanden die Kriterien der Leistungsprüfung nicht bestehen, müssen die Testpersonen von der Geruchsprüfung ausgeschlossen werden.

Im Rahmen dieses Projekts wurden die Geruchsbewertungen der Testpersonen markiert, die die Leistungsprüfung nicht bestanden haben. Dennoch durften die Personen weiterhin an der jeweiligen Probenbewertung teilnehmen. Somit wurden zwei Datensätze für jede Geruchsbewertung ermittelt (Rohdaten/korrigierte Daten). Die beiden Datensätze wurden dahingehend ausgewertet, ob sich die Ergebnisse der Rohdaten und der korrigierten Daten signifikant voneinander unterscheiden.

In diesem Abschnitt wird die Effektivität dieser Anforderung gemäß ISO-Standard statistisch mittels des Einstichproben-t-Tests überprüft. Die statistische Untersuchung der 104 Geruchsprüfungen erfolgte mit den Mittelwerten der Rohdaten und der korrigierten Daten. In Tabelle 21 ist ein Datensatz – Rohdaten/korrigierte Daten – des BP12 aufgeführt.

Tabelle 21: Ergebnisse einer Geruchsuntersuchung des BP12 (Rohdaten und korrigierte Daten).

Tapete	Empfundene Intensität [pi] nach				
	3d	6d	9d	14d	28d
MW Rohdaten	7,3	5,3	4,5	3,1	2,6
STABW	3,6	3,0	3,2	2,6	1,6
VB90%	2,0	1,5	1,5	1,2	0,7
Probandenzahl	11	12	15	16	14
MW korrigierte Werte	7,3	5,3	4,6	2,6	2,8
STABW	3,6	3,0	3,2	2,0	1,5
VB90%	2,0	1,5	2,0	0,9	0,9
Probandenzahl	11	12	9	15	13
Abweichung			0,1	0,5	0,2

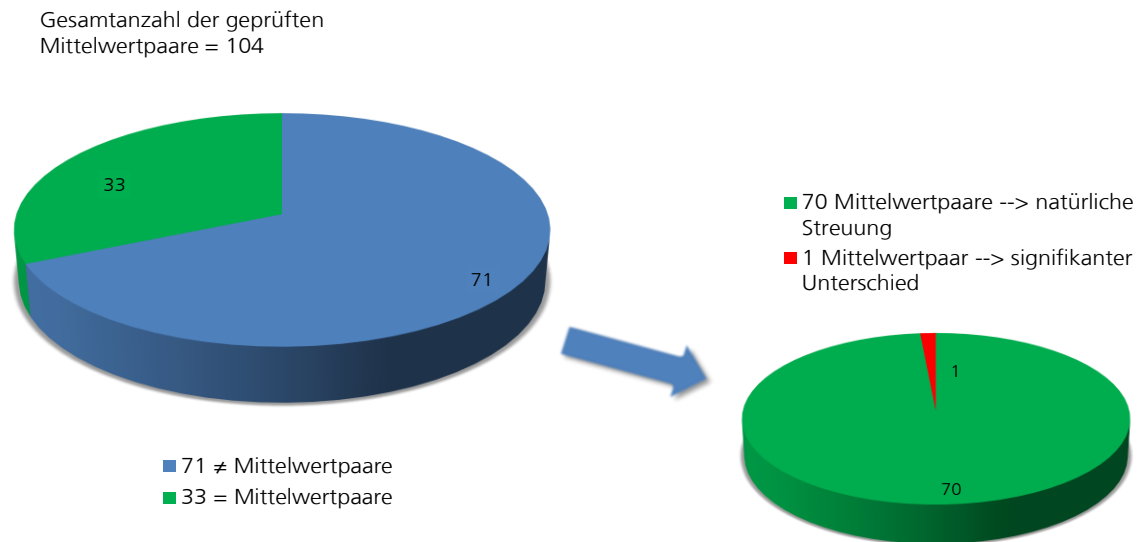


Abbildung 60: Mittelwertvergleich der Rohdaten und korrigierten Daten von Geruchsbewertungen.

Von den 104 Bewertungen bzw. Mittelwertpaaren – Rohdaten/korrigierte Daten – mussten 71 Mittelwerte »korrigiert« werden. Das heißt, bei 71 Geruchsuntersuchungen gab es Testpersonen, die die Aceton-Leistungsprüfung nicht bestanden haben. Somit ergaben sich zwei Mittelwerte für eine Geruchsbewertung (Rohdaten und korrigierte Daten). Bei 33 Bewertungen änderten sich die Werte nicht, da alle teilnehmenden Probanden die unbekannten Acetonproben »richtig« bewertet hatten. Mit den 71 ungleichen Mittelwertpaaren wurde ein Einstichproben-t-Test durchgeführt, um festzustellen, ob die Differenzen der Mittelwerte signifikant sind oder die Unterschiede durch die natürliche Streuung zu erklären sind.

Von den 71 Mittelwertuntersuchungen gab es nur bei einem Mittelwertpaar einen signifikanten Unterschied. Alle anderen Mittelwertdifferenzen ließen sich statistisch als natürliche Streuung erklären. In Abbildung 60 ist der Mittelwertvergleich der Rohdaten und korrigierten Daten grafisch dargestellt.

Demnach lässt sich für die hier durchgeführten Geruchsbewertungen folgern, dass der Ausschluss von Probanden aufgrund des Nichtbestehens der Aceton-Leistungsprüfung (gemäß DIN ISO 16000-28) keinen signifikanten Einfluss auf den Mittelwert einer Intensitätsbestimmung hat.

Gemäß DIN ISO 16000-28 müssen an einer Geruchsprüfung mindestens 8 Probanden teilnehmen, die die Prüfung von zwei unbekannten Acetonproben bestanden haben. Demnach müssen derzeit mindestens 10 Testpersonen an einer Geruchsprüfung teilnehmen, da davon auszugehen ist, dass durch das Ausschlusskriterium (nicht bestandene Leistungsprüfung) 1 - 2 Testpersonen von den Prüfungen ausgeschlossen werden müssen.

6.12 Die menschliche Geruchswahrnehmung von Acetongemischen

Für das Probandentraining geht die ISO 16000-28 von der Annahme einer Geruchsschwelle für Aceton von 20 mg/m^3 und einer linearen Beziehung zwischen der Acetonkonzentration und der empfundenen Luftqualität aus. Gleichzeitig wird angenommen, dass die Probandenantworten normalverteilt sind. Diese Punkte werden in der Veröffentlichung von Salthammer et al. (2015) ebenso detailliert wie kritisch diskutiert, so dass an dieser Stelle nur eine kurze Auflistung der wichtigsten Aussagen erfolgen soll. Die Zusammenfassung zu der genannten Veröffentlichung ist in Anhang I gezeigt. Die vollständige Arbeit kann unter dem in Anhang I angegebenen Link kostenfrei als PDF heruntergeladen werden.

Die ursprüngliche Idee, Aceton als Referenzsubstanz für sensorische Untersuchungen heranzuziehen, geht auf Fanger (1988) zurück. Von Bluysen (1990) wurde später ein linearer Zusammenhang zwischen Acetonkonzentration und der empfundenen Luftqualität in dezibel postuliert. 1991 erfolgte die Publikation dieser Ergebnisse durch Bluysen und Fanger in der Zeitschrift Indoor Air. Da die Linearitätsbeziehung zwischen Acetonkonzentration und empfundener Intensität sowohl dem Weber-Fechner-Gesetz (Fechner, 1860) als auch dem Stevens-Gesetz (Stevens, 1957) widerspricht, waren die Ergebnisse von Bluysen über Jahre Gegenstand kontroverser wissenschaftlicher Diskussionen. Im Jahr 1999 waren es sowohl Wargocki und Fanger als auch Spiess und Fitzner, die einen nichtlinearen Zusammenhang fanden und die Ergebnisse von Bluysen als irrtumsbehaftet einstufte. Trotzdem bildeten die ursprünglichen Ergebnisse von Bluysen die Grundlage der von Müller (2002) weiterentwickelten Methode zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität.

Die 1999 publizierte Nichtlinearität der Beziehung zwischen Acetonkonzentration und empfundener Intensität wurde durch die Ergebnisse von Salthammer et al. (2015) bestätigt. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit lauten:

- Die Geruchsschwelle von Aceton gemäß ISO 16000-28 (2012) ist zu hoch angesetzt. Neuere Arbeiten (z. B. Cometto-Muniz und Abraham (2009) zeigen, dass die Geruchsschwelle von Aceton eher im Bereich von 5 mg/m^3 oder darunter liegt). Damit ist der Nullpunkt der Π -Skala in Frage zu stellen.
- Die Antwort der Probanden auf die dargebotene Acetonkonzentration ist nichtlinear und folgt einer sigmoiden Kurve. Geringe Acetonkonzentrationen wurden zu hoch bewertet, hohe Acetonkonzentrationen wurden zu gering bewertet.
- Die Verteilung der Antworten von Probandenkollektiven divergiert. In 48 % aller Fälle musste die Annahme einer Normalverteilung zurückgewiesen werden.
- Die Antworten individueller Probanden sind nicht normalverteilt und weichen teilweise im Mittel systematisch vom vorgegebenen Referenzwert ab.

Die Zusammenfassung der Publikation von Salthammer et al. (2015) findet sich in Anhang I. Die Arbeit ist über den dort angegebenen Link Open Access verfügbar. Darüber hinaus sind zwei Beiträge von der im Juli 2016 in Ghent stattfindenden internationalen Konferenz INDOOR AIR akzeptiert (siehe Anhang II).

6.13 Probandenaufwand

Die Geruchsbewertungsmethode der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28 sieht vor, dass Geruchsuntersuchungen mit mindestens 8 trainierten Probanden durchgeführt werden müssen. Geruchsprüfungen, die während des Forschungsvorhabens stattfanden, wurden überwiegend mit einer Probandenzahl zwischen 9 und 17 durchgeführt. Mit den im Projekt ermittelten Daten wurde geprüft, ob 8 Probanden ausreichend sind, bzw. mehr oder sogar weniger Testpersonen zuverlässige Ergebnisse liefern.

Tabelle 22: Ermittlung der noch zulässigen Probandenanzahl unter Worst-Case-Bedingungen von BP5 (korrigierte Intensitätsergebnisse).

Anzahl	Intensität	Abweichung	Abweichung	6P	8P	10P	12P	14 P	15P	16P
Proband 1	4	2,2	-2,2	15	15	15	15	15	15	15
Proband 2	6	0,2	-0,2	11	11	11	11	11	11	11
Proband 3	2	4,2	-4,2	2	2	2	2	2	2	2
Proband 4	2	4,2	-4,2	2	2	2	2	2	2	2
Proband 5	5	1,2	-1,2	3	3	3	3	3	3	3
Proband 6	15	8,8	8,8	9	9	9	9	9	9	9
Proband 7	4	2,2	-2,2		4	4	4	4	4	4
Proband 8	3	3,2	-3,2		4	4	4	4	4	4
Proband 9	9	2,8	2,8			4	4	4	4	4
Proband 10	6	0,2	-0,2			8	8	8	8	8
Proband 11	6	0,2	-0,2				5	5	5	5
Proband 12	8	1,8	1,8				7	7	7	7
Proband 13	4	2,2	-2,2					7	7	7
Proband 14	7	0,8	0,8					6	6	6
Proband 15	7	0,8	0,8						6	6
Proband 16	11	4,8	4,8							6
MW	6,2			7,0	6,3	6,2	6,2	6,2	6,2	
STABW	3,4			5,5	4,8	4,4	4,0	3,7	3,4	
VB90%	1,5			4,5	3,2	2,5	2,1	1,7	1,5	

Für die Überprüfung, ab welcher Probandenzahl die Intensitätsbestimmung ausreichend genaue Ergebnisse liefert, wurde das ± 2 pi-Kriterium für die Intensitätsbewertungen herangezogen. Wenn das Konfidenzintervall des Endergebnisses einer Geruchsintensitätsbewertung über ± 2 pi liegt, muss gemäß des Standards mit einer größeren Anzahl trainierter Testpersonen die Prüfung wiederholt werden.

Um festzustellen, wie viele Probanden ausreichen, um ein zuverlässiges Endergebnis zu erhalten, wurden mit 102 Geruchsbewertungen Simulationen hinsichtlich der Probandenzahl durchgeführt. An den Geruchsprüfungen der Bauproduktproben haben immer mindestens 9 bis maximal 17 Probanden teilgenommen. Mit diesen Daten wurde eine Worst-Case-Simulation durchgeführt. Für die Berechnung des Konfidenzintervalls wurden immer die Probandenantworten genommen, die am weitesten vom Mittelwert lagen (größte Abweichung vom Mittelwert). Die Überprüfung dieses Parameters erfolgte unter dem Aspekt der größten Abweichung der einzelnen Probandenantworten zum Mittelwert, da die Genauigkeit einer Methode möglichst unter ungünstigsten Bedingungen überprüft werden sollte. Somit kann hier eine Aussage getroffen werden, ab welchen Wert unter Worst-Case-Bedingungen die Methode bzw. der Parameter einer Methode keine zuverlässigen Ergebnisse mehr liefert bzw. die Anzahl der Probanden nicht ausreichend ist um das ± 2 pi-Kriterium einzuhalten. In Tabelle 22 sind die Daten einer Simulation am Beispiel eines Bauprodukts (BP5) aufgeführt. In dem Beispiel haben 16 Testpersonen an einer Geruchsbeurteilung teilgenommen. Die Abweichung von jeder Probandenantwort zum Mittelwert wird berechnet, als Betrag dargestellt und der Größe nach in absteigender Reihenfolge geordnet. Somit kann eine Ergebnissimulation durchgeführt werden, mit einer in Schritten reduzierten Probandenzahl, bei der immer der Proband entfällt, der die geringste Abwei-

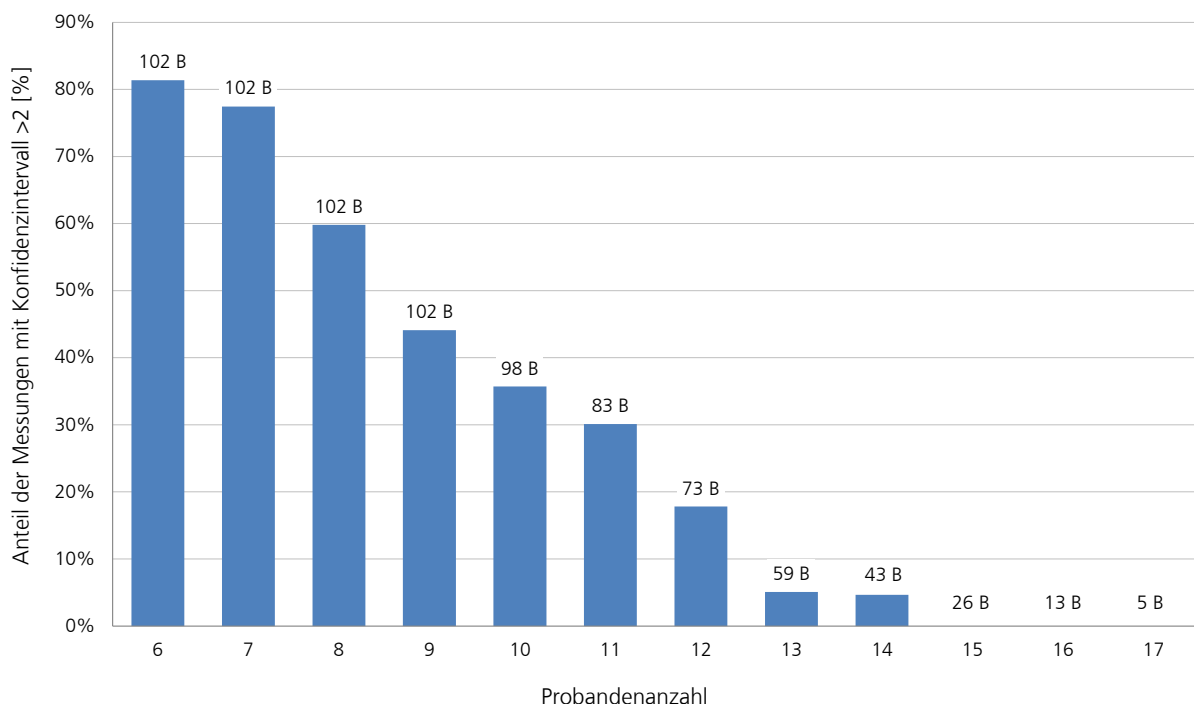


Abbildung 61: Worst-Case-Betrachtung von 102 Geruchsbewertungen bei verschiedenen Probandenzahlen.

chung zum Mittelwert hat. Der Mittelwert, die Standardabweichung und das 90-%-Konfidenzintervall werden für jede Messung mit reduzierter Probandenzahl neu berechnet. Da die DIN ISO 16000-28 eine Genauigkeit von ± 2 pi fordert, wurde dieses Kriterium als Maß für die zulässige Anzahl von Probanden für eine Intensitätsbewertung herangezogen. D.h., dass ab einem Konfidenzintervall $> 2,05$ pi die Anzahl der Testper-

sonen kein ausreichend genaues Endergebnis zur Geruchsintensität mehr liefert. In dem Beispiel in Tabelle 22 liegt das Konfidenzintervall erst ab einer Probandenzahl von 14 innerhalb der geforderten Genauigkeit von ± 2 pi.

Abbildung 61 zeigt den Anteil der Bewertungen mit einem Konfidenzintervall $> 2,05$ pi in Prozent. Die Daten, die in dem Diagramm dargestellt sind, sind Berechnungen aus 103 Geruchsbewertungen mit den größten Abweichungen der Probandenantworten vom Mittelwert.

Bei 102 Bewertungen mit 6 Testpersonen lagen 81 % der Bewertungen über einem Konfidenzintervall von $2,05$ pi. Bei einer Anzahl von 8 Probanden je Geruchsprüfung liegen immer noch von 102 Messungen 60 % über $2,05$ pi. Erst ab einer Probandenzahl von 12 liegen 82 % der Untersuchungen innerhalb der geforderten Genauigkeit von ± 2 pi für die Geruchsbewertungsmethode der empfundenen Intensität. Mit den aus dem Forschungsvorhaben gesammelten Daten würde eine Probandenzahl von 8 Personen nicht ausreichend genaue Endergebnisse liefern und 60 % der Bewertungen hätten mit einer größeren Probandenzahl wiederholt werden müssen. Sinnvoller erscheint ein Startwert von 10 – 12 Testpersonen je Geruchsuntersuchung, da bei den durchgeführten Simulationen nur noch 36 – 18 % der Prüfungen über $\pm 2,05$ pi liegen. Gerade im Hinblick auf die definierte Probandenzahl von nur 8 Personen gemäß DIN ISO 16000-28 sollte dieser Methodenparameter zukünftig durch weitere Untersuchungen überprüft werden, um statistisch sicherer Geruchsintensitäten zu erhalten.

6.14 Nutzen-Analyse

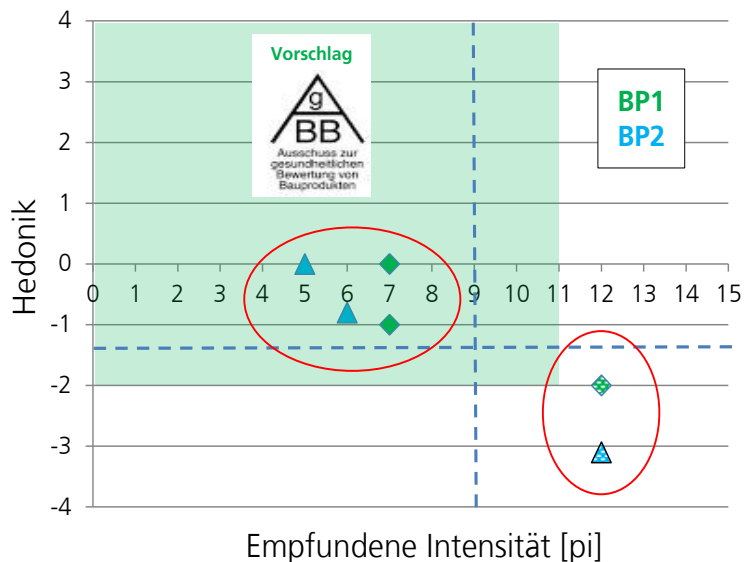


Abbildung 62: Empfundene Intensität vs. Hedonik im Hinblick auf die vorgeschlagenen AgBB-Kriterien von 2 BP.

Da eine Bewertung von Bauprodukten mittels der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28 einen erheblichen personellen Aufwand für die Prüfinstitute verursacht, war ein weiterer Bestandteil dieses Forschungsvorhabens eine »Nutzen-Analyse«. Soweit möglich wurde durch Auswertung aller verfügbaren Daten auch ermittelt, inwieweit die Geruchsbewertung die Gesamtbewertung verändert – wurden also durch die zusätzliche Geruchsbewertung Produkte entdeckt, die ansonsten unauffällige VOC-Emissionen aufweisen. Die chemischen Untersuchungen wurden gemäß AgBB-Kriterien bewertet (AgBB-

Schema 2012). Für die Bewertung der sensorischen Untersuchungen wurden die vorgeschlagenen Anforderungen aus dem Forschungsbericht Texte 35/2011 »Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten« (Müller et al. 2011) für die empfundene Intensität von 9 pi - 2 pi und für die hedonische Wirkung von 1,2 - 0,8 herangezogen.

Mit den 12 Bauprodukten, die während des Projekts geprüft wurden, wurden insgesamt 19 Kammerprüfungen durchgeführt und gemäß AgBB-Vorgaben ausgewertet. In Abbildung 62 ist eine Nutzen-Analyse im Hinblick auf die chemischen und sensorischen vorgeschlagenen AgBB-Anforderungen dargestellt. Von den 19 Untersuchungen würden 10 Emissionsprüfungen die AgBB-Anforderungen

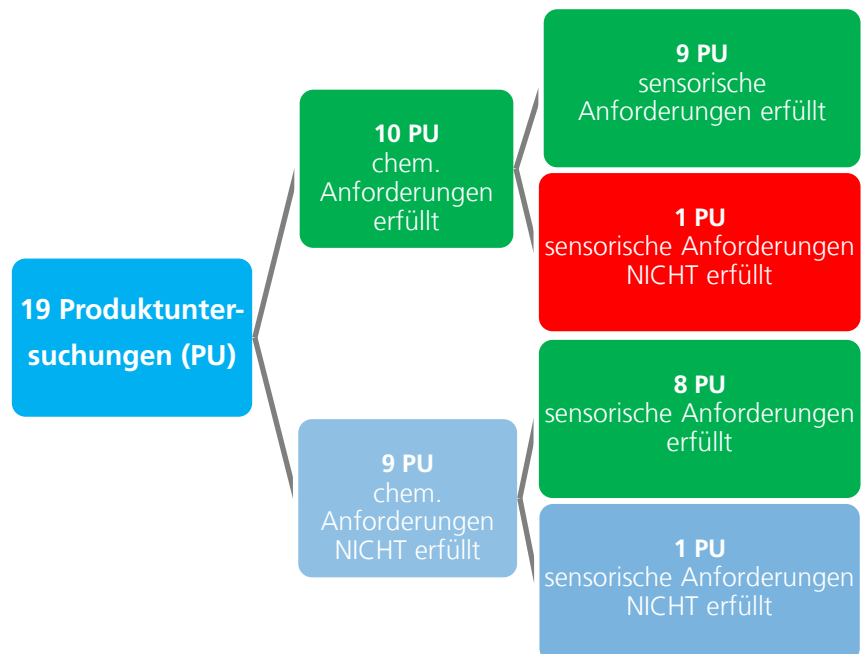


Abbildung 63: Nutzen-Analyse im Hinblick auf die chemischen und sensorischen (vorgeschlagenen) AgBB-Anforderungen von 19 Produktuntersuchungen.

nicht erfüllen. Die vorgeschlagenen Kriterien für die Geruchsintensität gemäß AgBB-Schema von 9 pi + 2 pi würden zwei direkt bewertete Prüfungen nicht erfüllen. Die dazugehörigen indirekten Bewertungen hingegen liegen unterhalb von 11 pi und würden somit die AgBB-Anforderungen im Hinblick auf die Geruchsbewertung entsprechen. Von den zwei abgelehnten Geruchsprüfungen würde eine Probe sowohl die chemischen als auch die sensorischen AgBB-Kriterien nicht bestehen. Demnach wäre dieses Produkt bereits durch die chemische AgBB-Prüfung nicht zugelassen worden. Die andere Emissionsprüfung erfüllt die chemischen AgBB-Anforderungen, die sensorischen Kriterien hingegen werden nicht eingehalten. Folglich würde von 19 Untersuchungen nur eine Untersuchung im Hinblick auf die Geruchsbewertung das AgBB-Schema nicht erfüllen, obwohl die chemischen Kriterien der Prüfungen erfüllt wurden. Somit wurden durch die zusätzlichen sensorischen Untersuchungen gemäß AgBB-Vorgaben ~ 5 % der Prüfungen herausgefiltert.

Darüber hinaus würden die indirekt bewerteten Geruchsproben derselben Bauprodukte (BP1 und BP2) die sensorischen AgBB-Kriterien nach 28d erfüllen (siehe Abbildung 63). An diesem Beispiel ist die Tragweite der Diskrepanz zwischen der indirekten Bewertung über die Beutelprouben und der direkten Bewertung an der Prüfkammer deutlich zu sehen. Wenn diese Bauprodukte nur indirekt bewertet worden wären, würden diese Produkte gemäß der Methode der empfundenen Intensität die AgBB-Vorgaben bestehen, obwohl das Material einen intensiven Geruch freisetzt.

6.15 Kostenanalyse

Tabelle 23: Kostenaufstellung einer Geruchsprüfung gemäß DIN ISO 16000-28 – empfundene Intensität.

Posten	Stunden [h]	Kosten/Person [Euro]	Kosten/10 Probanden [Euro]
Personalkosten:			
Probanden:	0,75	52,5	525
<i>Testleiter:</i>			
Vorbereitung	1	88	88
Prüfung	0,75	66	66
Auswertung/Berichtserstellung	1	88	88
Materialkosten:			
2 Beutel		25	50
Kosten empfundene Intensität		-	817
plus Hedonik (optional)	0,16	12	120
Gesamtkosten			937

Im folgenden Kapitel wird eine grobe Kostenabschätzung für die Geruchsuntersuchung von Innenraumproben mittels der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28 durchgeführt. Die Aufstellung der Kos-

ten bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Geruchsprüfung einer Probe zu einem Messzeitpunkt und beinhaltet die Personalkosten für den Testleiter und die Probanden sowie die Materialkosten der Probenbeutel. Der Trainingsaufwand und die Kosten für die Bereitstellung einer Prüfkammer sind hier zunächst nicht berücksichtigt worden, werden aber im zweiten Teil dieses Kapitels aufgeführt. Aufgrund der geringen Betriebskosten für den Vergleichsmaßstab, wie die Stromversorgung, Bereitstellung der Druckluft und der Chemikalie Aceton, sind diese in der Kostenkalkulation nicht berücksichtigt worden.

Kostenaufstellung Geruchsbewertung:

Gemäß DIN ISO 16000-28 müssen an der Geruchsintensitätsbestimmung eines Bauprodukts mittels Vergleichsmaßstab mindestens 8 trainierte Probanden teilnehmen, die vorher die Prüfung von zwei unbekannten Acetonproben bestanden haben müssen (siehe Kapitel 6.11). Demnach müssen derzeit mindestens 10 Testpersonen an einer Geruchsprüfung teilnehmen, da davon auszugehen ist, dass durch die nicht bestandene Leistungsprüfung 1 – 2 Testpersonen von der Geruchsprüfung an dem jeweiligen Bewertungstag ausgeschlossen werden müssen. Für die Geruchsuntersuchung eines Innenraumprodukts müssen ca. 0,75 Stunden angesetzt werden. In dieser Zeit finden die Acetonleistungsprüfung, die Bewertung der Prüfraumlufte sowie die Probenbewertung statt.

Tabelle 24: Kostenaufstellung für ein Probandentraining gemäß DIN ISO 16000-28 – empfundene Intensität.

Posten	Stunden [h]	Kosten/Proband [Euro]	8 Probanden [Euro]
Personalkosten:			
<i>Probanden</i>	5 h	350	2800
<i>Testleiter:</i>		4 Probanden/Training	8 Probanden/2 Trainings
Training	5 h	440	880
Vorbereitung	5 h	440	880
Auswertung	1 h	88	176
Materialkosten:			
15 Beutel/Training		750	1500
Gesamtkosten		3118	6236

Der Testleiter muss die Untersuchungsvorbereitungen durchführen, die Geruchsbewertung leiten sowie die Auswertung und den Untersuchungsbericht erstellen. Die Untersuchungsvorbereitung beinhaltet die Probenahme, das arbeitstäglige Kalibrieren des FIDs zur Einstellung der Acetonkonzentration am Vergleichsmaßstab, das Überprüfen bzw. Einstellen der pi-Stufen, der Temperatur/Feuchte und des Volumenstroms am Vergleichsmaßstab sowie die Überprüfung des Volumenstroms bei der Probendarbietung. Zudem muss das Raumklima ständig überwacht und gegebenenfalls angepasst werden, da gemäß des ISO-Standards mindestens eine Raumtemperatur von mindestens 20 °C + 3 °C (max. 25 °C) und eine relative Luftfeuchtigkeit von

50 % +/- 5 % für das Geruchsprüflabor definiert ist. Zusammengefasst bedeutet dies einen Arbeitsaufwand für den Untersuchungsleiter von ca. 2,75 h für die Durchführung einer Geruchsbewertung. Fasst man die Personalkosten für die Probanden und den Testleiter sowie die Materialkosten zusammen, so muss mit einem Kostenaufwand von 937 Euro für die Geruchsintensitätsbewertung einer Probe an einem Messpunkt gemäß DIN ISO 16000-28 gerechnet werden. Eine detaillierte Kostenaufstellung der einzelnen Positionen ist in Tabelle 23 dargestellt.

Kostenaufstellung Probandentraining und -auffrischung:

Weiterhin ist in Tabelle 24 eine Aufstellung der Kosten für ein Probandenersttraining aufgeführt. Gemäß der Norm müssen Personen, die an Geruchsprüfungen mittels Vergleichsmaßstab teilnehmen, ein 5-tägiges Training absolvieren.

Die Kosten für ein Ersttraining für eine Prüfergruppe, bestehend aus 8 Personen, belaufen sich auf 6236 Euro. In Tabelle 24 ist die Kostenaufstellung zunächst mit 4 Probanden/Training kalkuliert worden, da aus zeitlichen Gründen an einer Trainingseinheit maximal 4 Testpersonen teilnehmen können. Für eine Geruchsintensitätsbestimmung gemäß DIN ISO 16000-28 werden aber mindestens 8 trainierte Probanden benötigt. Deshalb sind ebenfalls die Kosten für ein Probandenersttraining mit 8 Personen aufgelistet. Geht man davon aus, dass ein Prüflabor mindestens 16 Probanden benötigt, um genügend Testpersonen für jede Geruchsprüfung zur Verfügung zu haben, betragen die Anfangskosten für das Probandenersttraining 12472 Euro.

Zudem müssen die Probanden alle 12 Monate eine »Auffrischungsschulung« des 4. und 5. Trainingstags durchlaufen. Die jährlichen Kosten, ausgehend von einem Probandenpool von 16 Personen, belaufen sich dabei auf 4600 Euro (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25: Kostenaufstellung der »Auffrischungsschulung« von Probanden gemäß DIN ISO 16000-28 – empfundene Intensität.

Posten	Stunden [h]	Kosten/Proband [Euro]	4 Probanden [Euro]
Personalkosten:			
<i>Probanden</i>	2 h	140	560
<i>Testleiter</i>			4 Probanden/Auffrischung
Training	2 h	-	176
Vorbereitung	2 h	-	176
Auswertung	1 h	-	88
Materialkosten:			
6 Beutel/Auffrischung		-	150
Gesamtkosten			1150

Trotz der Tatsache, dass die Kosten für den Trainingsaufwand und die Betriebskosten des Vergleichsmaßstabs nicht in der Kalkulation für eine Geruchsbewertung einer Probe mit berücksichtigt wurden, muss mit einem Kostenaufwand für die Hersteller von Bauprodukten bzw. für eine Zulassungsprüfung gemäß AgBB/DIBt-Vorgaben von 937 Euro/Probe und Messpunkt gerechnet werden. Da eine Geruchsbewertung immer in Kombination mit einer AgBB-Emissionsprüfung durchgeführt wird, ist der zusätzliche Aufwand für die Geruchsbewertung eines Bauprodukts erheblich im Hinblick auf den Nutzen einer sensorischen Untersuchung bei Zulassungsprüfungen.

In Kapitel 6.14 ist eine detaillierte »Nutzen-Analyse« mit den 12 untersuchten Bauprodukten aufgeführt. Soweit möglich wurde durch Auswertung aller verfügbaren Daten ermittelt, inwieweit die Geruchsbewertung die Gesamtbewertung verändert – also durch die zusätzliche Geruchsbewertung Produkte entdeckt wurden, die ansonsten unauffällige VOC-Emissionen aufweisen. Mit den 12 Bauprodukten, die während des Projekts geprüft wurden, wurden insgesamt 19 Kammerprüfungen durchgeführt und gemäß AgBB-Vorgaben ausgewertet. Von den 19 Untersuchungen würde nur eine Untersuchung im Hinblick auf die Geruchsbewertung das AgBB-Schema nicht erfüllen, obwohl die chemischen Kriterien der Prüfungen erfüllt wurden. Somit wurden durch die zusätzlichen sensorischen Untersuchungen gemäß AgBB-Vorgaben ~ 5 % der Prüfungen herausgefiltert.

7 Gegenüberstellung und Bewertung der Ergebnisse und Anforderungen gemäß DIN ISO 16000-28

Im folgenden Kapitel werden die wesentlichen Anforderungen gemäß DIN ISO 16000-28 bzw. die Ziele des Projekts den ermittelten Ergebnissen gegenübergestellt und bewertet. Da die durchgeführten Untersuchungen auf die Umsetzung der Verfahrensvarianten und der Anforderungen der Methode der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28 unter Praxisbedingungen ausgerichtet waren sowie deren Einflüsse auf das Endergebnis ermitteln werden sollten, erfolgt die Gegenüberstellung der Ergebnisse überwiegend methodenorientiert.

Einfluss der direkten und indirekten Bewertung sowie des Probenbehälters auf das Ergebnis der empfundenen Intensität

Da die Verfahrensvariante der direkten und indirekten Bewertung im engen Zusammenhang mit dem Einfluss des Probenbehälters steht, werden diese beiden Punkte zusammengefasst bewertet und diskutiert.

Anforderung gemäß DIN ISO 16000-28:

- Der ISO-Standard erlaubt es, Geruchsbewertungen indirekt über Probenbeutel und direkt an Prüfkammern durchzuführen. Eine Probenahme mit einem Probenbehälter muss durchgeführt werden, wenn die Luftgeschwindigkeit am Ausgangsstutzen der Emissionsprüfkammer nicht ausreichend ist (mind. 0,6 l/s), um sicherzustellen, dass keine Luftdurchmischung mit der Umgebungsluft während der Bewertung stattfindet.

Mit der Bewertung der empfundenen Intensität mittels direkter und indirekter Probendarbietung soll ermittelt werden, ob diese Verfahrensvariante vergleichbare Intensitäten liefert. Gerade im Hinblick auf die überwiegend verwendeten 1m³-Prüfkammern, an denen eine indirekte Geruchsbewertung durchgeführt werden muss (Volumenstroms am Kammerauslass $\leq 0,6$ l/s), ist es von besonderer Wichtigkeit, dass diese Bewertungsvarianten gleiche Geruchsintensitäten erzeugen.

- Die Norm schreibt vor, dass Probenbehälter keine Änderung des beprobten Geruchsstoffs verursachen dürfen. Der Probenbehälter muss daher luftdicht, geruchlos, undurchlässig und nicht-adsorbtiv sein.

Weiterhin dürfen Probenbeutel für die Geruchsbewertung aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden:

- Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer (FEP)
- Polyvinylfluorid (PVF, Tedlar®1)) und
- Polyethylenterephthalat (PET, Nalophan NA®2)).

In diesem Forschungsvorhaben wurden die Untersuchungen größtenteils mit Beuteln aus dem Material Nalophan durchgeführt. Um jedoch zu ermitteln, ob Unterschiede hinsichtlich der empfundenen

Intensität je nach Wahl des Beutelmaterials auftreten, wurden einige Produktbewertungen parallel mit Beuteln aus Nalophan und Tedlar durchgeführt.

Ergebnis:

Die vergleichende Untersuchung der indirekten und direkten Bewertung von Bauprodukten ergab nennenswerte und systematische Abweichungen der beiden Bewertungsverfahren voneinander. Bei der indirekten Bewertung mit Probenluftbeuteln wurden stets Minderbefunde beobachtet. Durch weitere Untersuchungen wurden zwei Ursachen dieser Abweichung nachgewiesen:

- 1) Unterschiedliche Trichter (nach ISO 16000-28) führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die verwendeten kommerziellen ‚kleinen‘ Trichter ergaben niedrigere Messwerte als größere Trichter (siehe Kapitel 6.5).
- 2) Die Materialien der Probenluftbeutel adsorbieren selektiv verschiedene geruchsrelevante Stoffe (und können diese auch zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgeben). Dadurch kommt es zu einer Veränderung der Probenluft. Der nachgewiesene Effekt trat für viele Substanzen sehr schnell ein, also binnen weniger Minuten nach dem Befüllen der Beutel (siehe Kapitel 6.2.1).

Die Projektergebnisse lassen die gesamte Vorgehensweise der indirekten Bewertung fragwürdig erscheinen. Beim aktuellen Erkenntnisstand bliebe nur die direkte Bewertung, die aber aufgrund der benötigten hohen Probenluftströme Prüfkammern $> 3\text{m}^3$ voraussetzt.

Einfluss der Trichtergeometrie auf das Ergebnis der empfundenen Intensität:

Anforderung gemäß DIN ISO 16000-28:

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, ist ein weiterer wichtiger Punkt, um verlässliche und vergleichbare Ergebnisse bei Geruchsbewertungen zu produzieren, die Geometrie der Bewertungstrichter. Im ISO-Standard wird hinsichtlich der Anforderungen für Bewertungstrichter lediglich auf das Material (Glas oder Edelstahl) und auf den maximalen Öffnungswinkel von 12° hingewiesen.

Welchen Einfluss die Trichterlänge sowie der Durchmesser am Einlass und Auslass des Trichters auf das Bewertungsergebnis haben, ist nicht geklärt.

Ergebnis

Die Differenzen der empfundenen Intensitäten der Proben, die parallel mit Trichter A und B bewertet wurden, liegen in einem Bereich von 1,7 – 2,8 pi. Hierbei ergaben empfundene Intensitäten am großen Trichter (B) immer höhere Werte als mit dem kleinen Trichter (A). Vergleicht man die direkt bewerteten Intensitäten mit den indirekten Daten von Trichter A und B, so liegen die Abweichungen bei Trichter A zwischen -4 bis -10 pi und bei Trichter B zwischen -1 bis -4 pi (siehe Kapitel 6.5).

Die hier durchgeführten Untersuchungen sowie die Strömungsberechnungen in unterschiedlichen Bewertungstrichtern (siehe Kapitel 6.6) zeigen, dass die Trichtergeometrie einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse der empfundenen Intensität hat. Demzufolge müssen die Anforderungen hinsichtlich der Bewer-

tungstrichter in der DIN ISO 16000-28 genauer beschrieben werden, um vergleichbare und verlässliche Ergebnisse zu erzeugen.

Einfluss der Bestimmung von Aceton auf das Ergebnis der empfundenen Intensität

Anforderung gemäß DIN ISO 16000-28:

Ein wesentlicher Faktor, um vergleichbare Geruchsintensitäten zu ermitteln, ist die korrekte Einstellung der absoluten Aceton-Konzentration an den jeweiligen pi-Bewertungsstufen des Vergleichsmaßstabs. Gerade im Hinblick auf zulassungsrelevante Prüfungen, bei denen die Vergleichbarkeit der Prüfinstitute untereinander gewährleistet sein muss, hat die absolute Aceton-Konzentration einen entscheidenden Einfluss auf das Endergebnis. Gemäß der DIN ISO 16000-28 sind keine Regelungen aufgeführt, um die Aceton-Konzentration der jeweiligen pi-Stufen zu ermitteln. Es wird lediglich nur eine Abweichung von 0,5 pi (10 mg/m³) an der jeweiligen pi-Stufe des Vergleichsmaßstab (VM) definiert. In der Norm fehlen Anforderungen, wie und mit welcher Art von Messgerät die Aceton-Konzentration bestimmt werden soll. Um aber Messwerte zu erzeugen, die auch vergleichbar mit anderen Laboren sind, war dies ein wesentlicher Aspekt bei der Evaluierung dieses Geruchsbewertungsverfahrens.

Ergebnis:

Die sichere Bestimmung der Acetonkonzentration an den Trichtern des Vergleichsmaßstabs ist aus mehreren Gründen problematisch:

Die Acetonkonzentration ist am Trichterende nicht homogen, weswegen sich die meisten Laboratorien eine ‚Zentriereinrichtung‘ für ihr Messgerät gebaut haben, um halbwegs stabile Messwerte zu erhalten. Die Inhomogenität an sich ist bereits ein ernsthaftes methodisches Problem, da auch keine zeitliche Konstanz gegeben ist und die Probanden naturgemäß nicht in der Lage sind, die Nase exakt zentrisch über einen ausreichend langen Zeitraum im Trichter zu positionieren.

Es hat sich aber auch gezeigt, dass der Einsatz verschiedener Messprinzipien (untersucht: PAD, FID, DNPH, PID) und Kalibriertechniken zu deutlich unterschiedlichen Messergebnissen führt. Da jedes Labor ‚sein‘ Messgerät und ‚seine‘ Kalibriervorschrift hat, muss allein deswegen mit Unterschieden gerechnet werden. Zudem müssen die Abweichungen der einzelnen Messgeräte voneinander nicht einmal konstant sein – beim Vergleich von FID und PID zum Beispiel zeigten sich gute Übereinstimmungen im unteren Konzentrationsbereich, aber deutliche Abweichungen bei den höheren pi-Stufen.

Schließlich ist die Rückführung der Acetonbestimmung schwierig, da bisher keine DKD-zertifizierten Aceton/Luft-Prüfgase verfügbar sind. Daher ist es momentan nicht einfach möglich, ein Referenzverfahren für die Kalibration festzulegen – es bliebe nur ein Konventionsverfahren (bestimmtes Messgerät, das mit einem anderen zertifizierten Prüfgas kalibriert und dann zur Acetonmessung eingesetzt wird).

An dieser Stelle muss die Norm überarbeitet und eine Lösung des Kalibrierproblems gefunden werden. Ist die Kalibration nicht eindeutig definiert, so wird es zwingend Abweichungen auch bei völlig normkonformen Prüfungen verschiedener Laboratorien geben.

Effektivität der Aceton-Leistungsprüfung

Anforderung gemäß DIN ISO 16000-28:

Geruchsintensitätsbewertungen gemäß DIN ISO 16000-28 dürfen nur Testpersonen durchführen, die die arbeitstäglche Aceton-Leistungsprüfung erfolgreich bestanden haben. Die Überprüfung erfolgt vor der Bewertung der Geruchsproben. Jeder Proband muss zwei unbekannte Acetonproben bewerten. Wenn die Probanden die Kriterien der Leistungsprüfung nicht bestehen, müssen die Testpersonen von der Geruchsprüfung ausgeschlossen werden. Im Rahmen dieses Projekts wurden die Geruchsbewertungen der Testpersonen markiert, die die Leistungsprüfung nicht bestanden haben. Dennoch durften die Personen weiterhin an der jeweiligen Probenbewertung teilnehmen. Somit wurden zwei Datensätze für jede Geruchsbewertung ermittelt (Rohdaten/korrigierte Daten). Die beiden Datensätze wurden dahingehend ausgewertet, ob sich die Ergebnisse der Rohdaten und der korrigierten Daten signifikant voneinander unterscheiden.

Ergebnis:

Von den 104 Bewertungen bzw. Mittelwertpaaren – Rohdaten/korrigierte Daten – mussten 71 Mittelwerte »korrigiert« werden. Mit den 71 ungleichen Mittelwertpaaren wurde ein Einstichproben-t-Test durchgeführt, um festzustellen, ob die Differenzen der Mittelwerte signifikant sind oder die Unterschiede durch die natürliche Streuung zu erklären sind.

Von den 71 Mittelwertuntersuchungen gab es nur bei einem Mittelwertpaar einen signifikanten Unterschied. Alle anderen Mittelwertdifferenzen ließen sich statistisch als natürliche Streuung erklären. Demnach lässt sich für die hier durchgeführten Geruchsbewertungen folgern, dass der Ausschluss von Probanden von einer Geruchsbewertung aufgrund des Nichtbestehens der Aceton-Leistungsprüfung (gemäß DIN ISO 16000-28) keinen signifikanten Einfluss auf den Mittelwert einer Intensitätsbestimmung hat.

Gemäß DIN ISO 16000-28 müssen an einer Geruchsprüfung mindestens 8 Probanden teilnehmen, die die Prüfung von zwei unbekannten Acetonproben bestanden haben. Demnach müssen derzeit mindestens 10 - 12 Testpersonen für eine Geruchsprüfung eingeladen werden, da davon auszugehen ist, dass durch das Ausschlusskriterium (nicht bestandene Aceton-Leistungsprüfung) 1 – 2 Testpersonen von den Prüfungen ausgeschlossen werden müssen. Die in diesem Forschungsvorhaben gesammelten Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass das Endergebnis nicht signifikant unzuverlässiger wird, wenn Testpersonen an der Geruchsprüfung teilnehmen, die die Aceton-Leistungsprüfung nicht bestanden haben. Für die Prüfinstitute würde dies einen relevanten Effekt auf die zur Verfügung zu stellenden Probanden haben. Die Labors müssten eine geringere Anzahl an trainierten Probanden vorhalten und könnten somit den personellen Zeit- und Kostenfaktor reduzieren. Dennoch sollte vor jeder Geruchsprüfung eine Bewertung von beispielsweise nur einer unbekannten Aceton-Konzentration durch die Probanden erfolgen, so dass die Testpersonen arbeitstäglich eine »Kalibrierung« ihres Geruchssinns durchführen können, ohne von den Bewertungen ausgeschlossen zu werden.

8 Zusammenfassung

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die Geruchsbewertungsmethode der empfundenen Intensität gemäß DIN ISO 16000-28 auf deren Praxistauglichkeit zu prüfen sowie Rahmenparameter und Verfahrensvarianten auf deren Eignung zu untersuchen.

Als Basis dafür diente die Prüfung von 12 Bauprodukten, die hinsichtlich ihrer chemischen und sensorischen Emissionen mittels Prüfkammeruntersuchungen gemäß AgBB-Vorgaben charakterisiert wurden.

Von den 12 Produkten wurden 5 Proben in einer 1m³-Prüfkammer über 28 Tagen untersucht. Die Geruchsbewertungen mussten aufgrund des zu geringen Volumenstroms am Kammerauslass (Mindestvolumenstrom 0,6 l/s) indirekt über Probenbeutel stattfinden. Die anderen 7 Produkte wurden zeitgleich in 1- und 3m³-Prüfkammern untersucht, so dass an den 3m³-Prüfkammern parallel zur indirekten Bewertung auch eine direkte Probenbewertung der empfundenen Intensität durchgeführt werden konnte. Alle Prüfungen erfolgten nach 3, 7, 14 und 28 Tagen. Da gemäß DIBt/AgBB-Vorgaben Emissionsuntersuchungen nur in Kammern gemäß DIN ISO 16000-9 stattfinden dürfen, wurden alle Untersuchungen in Prüfkammern durchgeführt, die dem ISO-Standard entsprechen. Dies ist relevant aufgrund der Tatsache, dass fast alle bisher publizierten Messwerte (Horn et al. 2007; Müller et al. 2011) entweder mit CLIMPAQs (die nicht der DIN ISO 16000-9 entsprechen), oder in 20-l-Kammern durchgeführt wurden, bei denen aufgrund des geringen Kammervolumens die Probenahme für die Geruchsprüfung mehrere Stunden dauert. Daher haben die existierenden Messdaten nur bedingte Aussagekraft, bezüglich einer Nutzbarkeit des Geruchsbewertungsverfahrens der empfundenen Intensität im Kontext des AgBB-Schemas.

Im Projekt erfolgte die Probenvorbereitung soweit möglich gemäß DIBt-Zulassungsgrundsätzen. Andernfalls wurde die Probenvorbereitung gemäß Herstellerangaben durchgeführt. Es wurden zu jedem Messzeitpunkt die Konzentrationen von VOC und flüchtigen Aldehyden sowie die empfundene Intensität und die Hedonik bestimmt. Ein wichtiger Punkt bei den Emissionsprüfungen war, dass die parallelen Untersuchungen immer unter gleichen Prüfbedingungen (Luftwechsel, Beladung etc.) durchgeführt wurden. Somit konnten mögliche Fehlerquellen durch die Rahmenparameter der Emissionsprüfungen, und daraus folgend eine Beeinflussung des Endergebnisses der Geruchsprüfung, soweit wie möglich reduziert werden.

Ein wesentlicher Aspekt dieses Arbeitsschritts war die Überprüfung bestimmter Verfahrensvarianten der Geruchsbewertungsmethode (direkte Bewertung an einer Prüfkammer vs. indirekte Probenbewertung über Probenbeutel, Wahl der Trichtergröße und des Beutelmaterials) dahingehend, ob Veränderungen im Rahmen der DIN ISO 16000-28 stets zu vergleichbaren und zuverlässigen Endergebnissen führen.

Unter diesem Arbeitspunkt wurde festgestellt, dass die Verfahrensvariante der direkten und indirekten Geruchsbewertung, die gemäß ISO-Standard vergleichbar sein soll, immer unterschiedliche Ergebnisse ergab. Bei 7 Produktuntersuchungen, die direkt und indirekt bewertet wurden, erzeugte die direkte Bewertung immer höhere Intensitäten als die parallel stattfindende indirekte Probenbewertung über Nalophan-Beutel. Die Abweichungen bei den Untersuchungen der direkten und indirekten Bewertungsvariante lagen zwischen 2 und 9 pi (siehe Kapitel 6.1). Zusätzlich wurden vergleichende Untersuchungen mit Beuteln aus dem Material Ted-

lar durchgeführt. Tedlar ist eines der drei vorgeschlagenen Materialien gemäß DIN ISO 16000-28. Die parallelen Untersuchungen mit Beuteln aus dem Material Tedlar und Nalophan ergaben Unterschiede, die in einem pi-Bereich zwischen 0,1 – 2,9 pi liegen. Allerdings ist keine Tendenz festzustellen, welches der beiden Materialien höhere oder niedrigere empfundene Intensitäten liefert (siehe Kapitel 6.4).

Zudem hat die Geometrie der Bewertungstrichter einen nennenswerten Einfluss auf die Endergebnisse der Geruchsbewertungen der Bauprodukte. Je nach Wahl des Bewertungstrichters variieren die empfundenen Intensitäten im Vergleich zueinander erheblich. Bei den Bewertungen mit einem kleinen Trichter lag die Differenz zwischen direkter (großer Trichter (B)) und indirekter Probenbewertung (kleiner Trichter (A)) höher (min. 4 pi/max. 9 pi) als bei Bewertungen, die ausschließlich mit einem größeren Trichter (min. 1 pi/max. 4 pi) durchgeführt wurden (direkte und indirekte Bewertung mit einem großen Trichter (B)). Auch hier lässt die Norm zu viel Spielraum im Hinblick auf die Bewertungstrichtergeometrie, die nur die Anforderung eines Öffnungswinkels von 12° definiert (siehe Kapitel 6.5).

Des Weiteren wurde die VOC-Konzentration von Beutelluftproben mit der jeweiligen VOC-Kammerkonzentration gegenübergestellt. Hier zeigten einige Substanzen Verluste, die nicht mehr im analytischen Fehlerbereich für VOC-Messungen liegen und somit sehr wahrscheinlich auf Adsorptionseffekte bzw. Diffusion durch das Beutelmateriale zurückzuführen sind. Andere Komponenten hingegen stimmten relativ gut mit der Kammerkonzentration des jeweiligen Messtages überein (siehe Kapitel 6.2.1), so dass von einer substanzspezifischen Abreicherung der untersuchten Luft ausgegangen werden muss.

Um zu ermitteln, welche Effekte ursächlich für die Minderbefunde der Beutelluftproben sind, wurden zusätzlich Nalophan- und Tedlar-Beutel mit einem Substanzgemisch dotiert, mit gereinigter Luft gespült und bei 23 °C und 60 °C der VOC-Gehalt im Beutel bestimmt (siehe 6.2.2). Diese Versuche zeigten, dass einige Substanzen (z. B. Pentansäure, Dipropyldiglykolacetat) in nennenswerten Mengen an der Probenbeuteloberfläche adsorbieren und andere Substanzverluste wahrscheinlich durch Diffusion erfolgen. Festzustellen ist jedoch, dass die Probenluft für eine Geruchsprüfung durch die physikalischen Eigenschaften der Materialoberflächen Nalophan und Tedlar verändert werden. Somit sind die Materialien Nalophan und Tedlar nicht geeignet für Probenbehälter für Geruchsbewertungen von Innenraumprodukten gemäß DIN ISO 16000-28.

Ein weiterer wesentlicher Punkt, der in der DIN ISO 16000-28 nicht reguliert wird, ist die Bestimmung der absoluten Aceton-Konzentration am Vergleichsmaßstab. Die Acetonbestimmung an einem Vergleichsmaßstab hat erhebliche Auswirkungen auf die Vergleichbarkeit der Geruchsintensitäten unter den einzelnen Prüfinstituten. Eine Abweichung der Aceton-Konzentration an einer Bewertungsstufe eines Vergleichsmaßstabs hat direkten Einfluss auf die pi-Stufen und somit auf das Endergebnis der empfundenen Intensität. Je nach Wahl der Messverfahren bzw. je nach Kalibration eines Messgeräts können hier Unterschiede zwischen 1 - 4 pi unter den einzelnen Prüfinstituten auftreten. Bei einer Bewertungsskala von 15 pi sind das unter Worst-Case-Bedingungen ~26%.

Weiterhin wurden Untersuchungen im Hinblick auf den Nutzen der sensorischen Prüfung anhand der hier untersuchten Produkte ermittelt. Werden beispielsweise mit der zusätzlichen sensorischen Prüfung Bauprodukte identifiziert, die die chemischen AgBB-Anforderungen erfüllen, die aber trotzdem geruchlich stark

auffällig sind? Bei den im Rahmen dieses Projekts durchgeführten 19 Produktuntersuchungen haben nur zwei Produkte die vorgeschlagenen sensorischen Anforderungen gemäß AgBB-Vorgabe nicht bestanden (BP1, BP2). Eines dieser Produkte wäre aber bereits durch die chemischen AgBB-Kriterien abgelehnt worden (BP1). Demnach wurde nur ein Produkt durch die sensorische Prüfung »entdeckt« (BP2), das die chemischen AgBB-Anforderungen bestanden hätte, die sensorischen hingegen nicht.

Es ist anzumerken, dass die sensorischen AgBB-Kriterien, der beiden abgelehnten Prüfungen (BP1, BP2), nur bei der direkten Geruchsbewertung nicht erfüllt wurden, jedoch die parallel durchgeführten indirekten Geruchsbewertungen derselben Probe die sensorischen AgBB-Anforderungen bestanden hätten.

Weiterhin ist das Bewertungsergebnis stark abhängig von der Position der Nase am Bewertungstrichter. Untersuchungen, die an der HTW durchgeführt wurden, ergaben, dass es durch falsche Position der Probanden-nase am Bewertungstrichter zu Rückströmungen im Trichter kommen kann, so dass die Probenluft unter Umständen mit Umgebungsluft verdünnt wird. Das heißt, dass die durch einen Probanden bewertete Intensität einer Probe eine starke Abhängigkeit von der Nasen-Trichter-Position bei der Bewertung hat (Müller, 2015).

Erlaubte Variationen der Prüfparameter im Rahmen der normativen Vorgabe führen somit zu signifikanten Abweichungen im Prüfergebnis. Die Geruchsbewertungsmethode der empfundenen Intensität ist zum derzeitigen Stand nicht ausreichend robust für den Routineeinsatz bei Zulassungsprüfungen in Prüflaboren.

9 Ausblick

Aus derzeitiger Sicht ist die Bestimmung der empfundenen Intensität mittels Vergleichsmaßstab gemäß DIN ISO 16000-28 ein nicht ausreichend valides Bewertungsverfahren für die Bewertung von Geruchsemissionen von Bauprodukten. Eine Überarbeitung der Norm wird dringend empfohlen, um robustere und vergleichbare Ergebnisse zu erzeugen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass eine ausführliche Überprüfung der geänderten bzw. zusätzlichen Anforderungen in der nächsten überarbeiteten Fassung ebenfalls durchgeführt werden muss. Selbst wenn wesentliche Aspekte wie die Trichtergeometrie sowie die Bestimmung von Aceton am Vergleichsmaßstab optimiert bzw. reguliert werden, werfen manche Anforderungen wie beispielsweise die Minderbefunde durch die Beutelluftbewertung immer noch Fragen auf. Derartige Senkeneffekte betreffen ein fundamentales Problem des beutelmaterials, das nicht durch einfache Änderungen der Norm eliminiert bzw. minimiert werden kann. Dies wie frühere Untersuchungen zeigen, dass Probenbeutel aus Nalophan und Tedlar ähnliche Minderbefunde der Geruchsstoffkonzentration aufweisen (Müller, 2001; Richter et al., 2002; Bakhtari, 2015). Müller (2002) untersuchte unter anderen Beutel aus den Materialien Tedlar und Nalophan mit dotierten Substanzgemischen über mehrere Stunden bis Tage. Die Versuche zeigten ebenfalls, dass einige Substanzen nahezu konstant in der Beutelluft nachgewiesen werden konnten. Andere Substanzen wiederum wiesen nennenswerte Minderbefunde in der Beutelluft auf. Allerdings erfolgten die ersten Probennahmen der Beutelluft nicht direkt nach dem Injizieren der Substanzen, sondern wurden erst nach mehreren Stunden durchgeführt. Gerade im Hinblick auf Adsorptionseffekte durch das Beutelmateriale, die binnen der ersten Minuten bis Stunden im Beutel auftreten, konnte das Konzentrationsverhalten von Sub-

stanzen bzw. Substanzgemischen direkt nach dem Befüllen der Probenbeutel bei den Versuchen von Müller (2002) nicht untersucht werden. Die Untersuchungen von Richter et al. und Bakhtari wurden mit Proben für den Außenluftbereich durchgeführt, deren Geruchsstoffkonzentrationen auf einem deutlich höheren Niveau liegen. Da jedoch im Innenraumbereich die geruchsrelevanten Substanzen in Proben oftmals in viel geringeren Mengen vorliegen, ist es wahrscheinlich, dass die Adsorptions- und Diffusionswirkungen der Beuteloberfläche einen noch größeren Effekt auf die Probenluft und demnach auf die Geruchsempfindung der menschlichen Nase haben werden. Deshalb sollten weitere Prüfungen der Beutelmaterialeien erfolgen, so dass hier das Geruchsbild eines zu prüfenden Produkts durch eine indirekte Probenbewertung möglichst nicht verändert wird.

Weiterhin ist bislang noch immer nicht ausreichend untersucht, wie der Zusammenhang zwischen Luftfeuchte und Geruchswahrnehmung bzw. Geruchsbewertung beim Menschen ist. Es ist lediglich bekannt, dass durch hohe oder zu niedrige Feuchten die Geruchswahrnehmung beeinflusst wird (Fang et al. 1998; Böttcher, 2003). Nur in welchem Bereich die Feuchtwerte liegen müssen, so dass der Geruchssinn noch repräsentative und vergleichbare Ergebnisse erzeugen kann, ist bislang nicht eingehend evaluiert worden. Gleiches gilt auch für den Einfluss der Temperatur auf die Geruchswahrnehmung. Auch hier ist der Einfluss von Temperaturänderungen bislang nicht hinreichend untersucht worden. Gerade im Hinblick auf die nicht definierten klimatischen Bedingungen in der DIN ISO 16000-28 des Aceton-Luftstroms am Vergleichsmaßstab sollte hier nochmals gezielt eine Validierung stattfinden, inwieweit die Bewertung der empfundenen Intensität auf Feuchte- und Temperaturänderungen reagiert (siehe Kapitel 5.3.1).

Zudem ist weiterhin die Frage offen, ab welcher Konzentration Aceton eine trigeminale Wirkung auf das menschliche Empfinden hat. Die Reizschwelle von Aceton ist nach wie vor noch nicht exakt bestimmt worden. Demnach ist nicht geklärt, ob die Probanden eine echte Geruchswahrnehmung bewerten oder bereits ein Reiz-/Schmerzempfinden, das durch die vom Vergleichsmaßstab bereitgestellten Aceton-Konzentrationen ausgelöst wird. Hinweise der Probanden während der Bestimmung von hohen pi-Werten, dass eine Bewertung ab ~ 11 pi Probleme bei der Geruchswahrnehmung verursacht, könnte bereits ein Indiz dafür sein, dass ab einer Aceton-Konzentration von ca. 240 mg/m³ die Reizschwelle von Aceton erreicht ist.

Weiterhin sollte die Sinnhaftigkeit der relativ eng gefassten pi-Stufen an einem Vergleichsmaßstab überdacht werden. Vielleicht ist es ausreichend, einen Vergleichsmaßstab mit nur 1 – 2 Vergleichskonzentrationen für eine Geruchsbewertung zu nutzen. Eine so genannte Pass-Fail-Entscheidung könnte zu einem robusteren Verfahren und somit zu zuverlässigeren Endergebnissen führen. Somit würden auch Kosten durch das sehr aufwendige Probandentraining minimiert werden, der Geruchssinn der Testpersonen würde nicht so schnell adaptieren und es könnten ggf. mehr Proben während einer Geruchsuntersuchung bewertet werden.

10 Danksagung

Dieses Forschungsvorhaben wurde von der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. – iVTH, Bienroder Weg 54 E, 38108 Braunschweig und verschiedenen Industrieverbänden (siehe unten) gefördert.

Besonderer Dank gebührt den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses zum Forschungsvorhaben, die das Projekt mit konstruktiven Ideen, konstruktiver Kritik und Probenmaterial unterstützt haben.

Weiterhin möchten wir Frau Jennifer Bartsch danken, dass Erkenntnisse über die Strömungssimulationen von Bewertungstrichtern aus ihrer Doktorarbeit, mit dem Titel »Sensorische Bewertung von Emissionen aus Konsumgütern und Bauprodukten mittels GC-Olfaktometrie, empfundener Intensität und Hedonik«, mit in das Forschungsvorhaben einfließen durften. Darüber hinaus hat Frau Bartsch aus ihrer Doktorarbeit einige Textpassagen zum menschlichen Geruchssinn zur Verfügung gestellt.

Über Ergebnisse dieses Vorhabens wurde regelmäßig im Rahmen von Sitzungen der AG Sensorik des AgBB berichtet. Wir danken allen Mitgliedern der AG Sensorik für Beiträge und Anregungen.



Internationaler Verein für Technische Holzfragen e. V.

Prof. Dr. Rainer Marutzky



Verband der chemischen Industrie e. V.

Hermann Köhler



Deutsche Bauchemie e. V.

Dr. Martin Glöckner



Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e. V.

Dr. Helge Kramberger-Kaplan

Dr. Sandra Heydel



Industrieverband Klebstoffe e. V.

Dr. Klaus Winkels



Fachverband der Hersteller elastischer Bodenbeläge e. V.

Hans Joachim Schilgen

Dr. Gerhard Heidecke

Fred Seifert



Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V.

Gundula Wagner

Dr. Peter Sauerwein



Verband der Deutschen Tapetenindustrie e. V.

Karsten Brandt

11 Literaturverzeichnis

- AgBB - Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten 2012. Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. UBA, Dessau.
- Bakhtari, A. 2015. Reducing Odour Sample Degradation: A Comparative Study of Nalophan, Tedlar® and PTFE Sample Bags. IDES Canada Inc., <http://scentroid.com/wp-content/uploads/2015/07/Bakhtari-Reducing-Sample-Odour-Degradation-Jan302014.pdf>.
- Bartsch, J. 2016. Sensorische Bewertung von Emissionen aus Konsumgütern und Bauprodukten mittels GC-Olfaktometrie, empfundener Intensität und Hedonik. Dissertationsschrift, Technische Universität Braunschweig.
- Bluyssen P.M. 1990. Air quality evaluated by a trained panel. PhD Thesis, Technical University of Denmark, Lyngby.
- Bluyssen, P.M., Fanger, P.O. 1991. Addition of Olfs from Different Pollution Sources, determined by a Trained Panel. *Indoor Air* 1, 414-421.
- Böttcher, O. 2003. Experimentelle Untersuchung zur Berechnung der empfundenen Luftqualität. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Brattoli, M., Cisternino, E., Dambruoso, P., de Gennaro, G., Giungato, P., Mazzone, A., Palmisani, J., Tutino, M. 2013. Gas Chromatography Analysis with Olfactometric Detection (GC-O) as a Useful Methodology for Chemical Characterization of Odorous Compounds. *Sensors* 13, 16759-16800.
- Brodin, M., Laska, M., Olsson, M. 2009. Odor Interaction between Bourgeonal and Its Antagonist Undecanal. *Chemical Senses* 34, 625-630.
- Brosig, L., Horn, W., Pyza, L., Jann, O. 2013. Ringversuch zur Einführung der Geruchsmessungen nach DIN ISO 16000-28 in die Bewertung von Bauprodukten. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin. Bericht zum UFOPLAN-Vorhaben FKZ 363 01 431 des Umweltbundesamtes.
- Brosig, L., Horn, W., Jann, O. 2015. Round Robin Test for the Implementation of Odour Measurements regarding ISO 16000-28 into the Evaluation of Buildings Products – Part II (Specified by VDI 4302-1). Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, UBA-Texte 79/2015.
- Buck, L.B. 2005. Unraveling the Sense of Smell (Nobel Lecture). In: *Angewandte Chemie, International Edition* 44, 6128-6140. Presstext: "The 2004 Nobel Prize in Physiology or Medicine to Richard Axel and Linda B. Buck". Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014. Web. 25 Oct 2015. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2004/press.html
- Bushdid, C., Magnasco, M., Vosshall, L., Keller, A. 2014. Humans Can Discriminate More than 1 Trillion Olfactory Stimuli. *Science* 343, 1370-1372.
- Chu, S., Downes, J. 2002. Proust nose best: odors are better cues of autobiographical memory. *Memory & Cognition* 30, 511-518.
- Cometto-Muniz, J.E. 2001. Physicochemical basis for odor and irritation potency of VOCs. In: Spengler, J.D., Samet, J.M., McCarthy, J.F. (Eds.). *Indoor Air Quality Handbook*. McGraw-Hill, New York, 20.1-20.21.
- Cometto-Muñiz, J.E., Abraham, M.H. 2009. Olfactory psychometric functions for homologous 2-ketones. *Behavioural Brain Research* 201, 207-215.
- Commission of the European Communities (CEC) 1997. Evaluation of VOC Emissions from Building Products. European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man", Report No. 18, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, EUR 17334 EN, 1997

Commission of the European Communities (CEC) 1999. Sensory Evaluation of Indoor Air Quality. European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man", Report No. 20, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, EUR 18676 EN, 1999

Czerny, M., Brueckner, R., Kirchhoff, E., Schmitt, R., Buettner, A. 2011. The influence of molecular structure on odor qualities and odor detection thresholds of volatile alkylated phenols. *Chemical Senses* 36, 539-553.

Danish Indoor Climate Labelling System 1992

Däumling, C., Brenske, K.-R., Wilke, O., Horn, W., Jann, O. 2005. Health-related evaluation of VOC and SVOC emissions from building products – a contribution to the European construction products directive. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft* 65, 90-92.

Delahunty, C., Eyres, G., Dufour, J.P. 2006. Gas chromatography-olfactometry. *Journal of Separation Science* 29, 2107-2125.

Devos, M., Patte, F., Rouault, J., Laffort, P., Van Gemert, L.J. 1992. Standardized human olfactory thresholds. Oxford University Press, Oxford.

DIN EN ISO 12572:2001. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit (ISO 12572:2001). Beuth, Berlin.

DIN EN ISO 16000-11 2006. Innenraumluftverunreinigungen – Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen - Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke. Beuth, Berlin.

DIN EN ISO 16000-9 2008. Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfkammer-Verfahren. Beuth, Berlin.

DIN ISO 16000-28 2012. Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer. Beuth, Berlin.

DIN ISO 16000-3 2013. Innenraumluftverunreinigungen - Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern - Probenahme mit einer Pumpe. Beuth, Berlin.

DIN ISO 16000-6 2012. Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID. Beuth, Berlin.

DIN ISO 16000-30 2015. Innenraumluftverunreinigungen – Sensorische Prüfung der Innenraumluft. Beuth, Berlin.

Dürkop, J., Moriske, H.-J., Englert, N. 2005. Gesünder Wohnen – aber wie? Praktische Tipps für den Alltag. Umweltbundesamt, Berlin.

Dürkop, J., Horn, W., Englert, N., Plehn, W. 2007. Bauprodukte: Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden - Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt. Umweltbundesamt, Berlin, 2. Auflage.

Duffee, R.A., O'Brien, M. 2001. Response to odors. In: Spengler, J.D., Samet, J.M., McCarthy, J.F. (Eds.). *Indoor Air Quality Handbook*. McGraw-Hill, New York, 21.1-21.12.

Fang, L., Clausen, G., Fanger, P.O. 1998. Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. *Indoor Air* 8, 80-90.

Fang, L., Clausen, G., Fanger, P.O. 1999. Impact of temperature and humidity on chemical and sensory Emissions from buildings materials. *Indoor Air* 9, 193-201.

Fanger, P.O. 1988. Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. *Energy and Buildings* 12, 1-6.

Fechner, G.T. 1860. *Elemente der Psychophysik*. Breitkopf und Härtel, Leipzig.

- Fischer, M. Böhm, E. 1994. Erkennung und Bewertung von Schadstoffemissionen aus Möbellacken. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Frasnelli, J., Charbonneau, G., Collignon, O., Lepore, F. 2009. Odor localization and sniffing. *Chemical Senses* 34, 139-44.
- Fraunhofer WKI, ivTH 2002. Vermeidung von Geruchsstoffen in Produkten auf Holz- und Holzwerkstoffbasis für den Innenraum. Braunschweig.
- Handwerker, H.O. 2005. Allgemeine Sinnesphysiologie. In Schmidt, F., Schaible, H.-G., Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer Verlag, Berlin, S. 182-202.
- Hatt, H. 2012. Das kleine Buch vom Riechen und Schmecken. Albrecht Knaus, München.
- Herz, R. 2005. Odor-associative Learning and Emotion: Effects on Perception and Behavior. *Chemical Senses* 30, i250-i251.
- Horn, W., Jann, O., Kasche, J., Bitter, F., Müller, D., Müller, B. 2007. Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte - Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und geruchlichen Belastungen. Umweltbundesamt, Texte 16/07, Dessau.
- Hummel, T. 2001. Screening of olfactory function with a four-minute odor identification test: Reliability, normative data and investigations in patients with olfactory loss. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 110, 976-981.
- Knudsen, H.N., Kjaer, U.D., Nielsen, P.A., Wolkoff, P. 1999. Sensory and chemical characterization of VOC emissions from building products: impact of concentration and air velocity. *Atmospheric Environment* 33, 1217-1230.
- Knudsen, H.N., Clausen, P.A., Wilkins, C.K., Wolkoff, P. 2007. Sensory and chemical evaluation of odorous emissions from building products with and without linseed oil. *Building and Environment* 42, 4059-4067.
- Landis, B., Konnerth, C., Hummel, T. 2004. A study on the frequency of olfactory dysfunction. *The Laryngoscope* 114, 1764-1769.
- Lecheler, S. 2014. Numerische Strömungsberechnung: Schneller Einstieg durch anschauliche Beispiele mit ANSYS 15.0. Springer-Verlag, Wiesbaden.
- Legrum, W. 2011. Riechsstoffe, zwischen Gestank und Duft: Vorkommen, Eigenschaften und Anwendung von Riechstoffen und deren Gemischen. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Mayer, F., Breuer, K., Sedlbauer, K. 2009. Material and indoor odors and odorants. in: Salthammer, T., Uhde, E. (Eds.). *Organic Indoor Air Pollutants*. WILEY-VCH, Weinheim, pp. 165-187.
- Mücke, W., Lemmen, C. 2004. Schimmelpilze - Vorkommen, Gesundheitsgefahren, Schutzmaßnahmen. ecomed MEDIZIN, Landsberg am Lech.
- Mücke, W., Lemmen, C. 2009. Duft und Geruch: Wirkungen und gesundheitliche Bedeutung von Geruchsstoffen. ecomed MEDIZIN, Landsberg am Lech.
- Müller, B. 2015. Weiteres Vorgehen in der Normung ISO 16000-28. In: Fachkonferenz zum Abschluss der Pilotphase des AgBB zur Geruchsprüfung von Bauprodukten am 1. und 2. Oktober 2015, UBA Dessau.
- Müller, B., Panaskova, J., Danielak, M. 2011. Sensorische Bewertung der Emissionen von Bauprodukten-Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das Bewertungsschema des Ausschusses zur Gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. Umweltbundesamt, Dessau.
- Müller, B., Danielak, M., Horn, W., Jann, O., Müller, D., Panašková, J., Plehn, W. 2009. Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft* 69, 246-250.
- Müller, B. 2002. Entwicklung eines Gerätes zur Entnahme und Darbietung von Luftproben zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität. Technische Universität Berlin.

- Nielsen, G.D., Wolkoff, P., Alarie, Y., 2007. Sensory irritation: Risk assessment approaches. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 48, 6-18.
- Ohloff, G. 2004. *Düfte*, WILEY-VCH, Weinheim.
- Proust, M. 1913. *A la recherche du temps perdu: Du côté de chez Swann*. Bernard Grasset, Paris.
- Richter, C.-J., Enderle, K.-H., Höfl, H.-C., Röckle, R. 2002. Untersuchung der Lagerfähigkeit von Geruchsproben. Universität Tübingen, Tübingen.
- Rietschel, H., Fitzner, K. (Eds.) 2008. *Raumklimatechnik: Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Salthammer, T., Fuhrmann, F., Kühn, V., Massold, E., Schulz, N. 2004. Beurteilung von Bauprodukten durch chemische und sensorische Prüfungen. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 64, 111-117.
- Salthammer, T., Schulz, N., Stolte, R., Uhde, E., 2015. Human sensory response to acetone/air mixtures. *Indoor Air*, available online, DOI 10.1111/ina.12262.
- Sell, C.S. 2014. *Chemistry and the Sense of Smell*. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.
- Sorokowska, A., Sorokowski, P., Hummel T., Huanca, T. 2013. Olfaction and Environment: Tsimane' of Bolivian Rainforest Have Lower Threshold of Odor Detection Than Industrialized German People. *PLoS ONE* 8, doi:10.1371/journal.pone.0069203.
- Spiess, T, Fitzner, K. 1999. New developments in assessing perceived air quality in the laboratory with trained and untrained panels. *Proceedings of the 8th International Conference on Indoor Quality and Climate*, Edinburgh, Vol. 2, 567-572.
- Stevens, S.S. 1957. On the psychophysical law. *Psychological Review* 64, 153-181.
- VDI 2015. Verein Deutscher Ingenieure, VDI 4302 Blatt 1. Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien – Grundlagen. Beuth, Berlin.
- VDI 2012. Verein Deutscher Ingenieure, VDI 4302 Blatt 2. Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien - Prüfstrategie für Geruchsprüfungen von Innenraumluft. Beuth, Berlin.
- Wargocki, P., Fanger, P.O. 1999. A transfer model between perceived air quality judged by a trained panel and by an untrained panel. *Proceedings of the 8th International Conference on Indoor Quality and Climate*, Edinburgh, Vol. 2, 594-599.
- Wolkoff P., Nielsen, G. 2001. Organic compounds in indoor air - their relevance for perceived indoor air quality? *Atmospheric Environment* 35, 4407-4417.
- Wolkoff, P., Wilkins, C.K., Clausen, P.A., Nielsen, G.D. 2006. Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 16, 7-19.

ANHANG I



Human sensory response to acetone/air mixtures

T. Salthammer, N. Schulz, R. Stolte, E. Uhde

First published: 30 November 2015

DOI: 10.1111/ina.12262

Abstract

The release of organic compounds from building products may influence the perceived air quality in the indoor environment. Consequently, building products are assessed for chemical emissions and for the acceptability of emitted odors. A procedure for odor evaluations in test chambers is described by the standard ISO 16000-28. A panel of eight or more trained subjects directly determines the perceived intensity Π (unit pi) of an air sample via diffusers. For the training of the panelists, a comparative Π -scale is applied. The panelists can use acetone/air mixtures in a concentration range between 20 mg/m³ (0 pi) and 320 mg/m³ (15 pi) as reference. However, the training and calibration procedure itself can substantially contribute to the method uncertainty. This concerns the assumed odor threshold of acetone, the variability of panelist responses, and the analytical determination of acetone concentrations in air with online methods as well as the influence of the diffuser geometry and the airflow profile.

Practical Implications

For many years, sensory evaluation of the perceived air quality has been a common method for evaluating building products for interior applications. The test chamber procedure, including the training of a panel of volunteers using acetone/air mixtures, is described by the standard ISO 16000-28. This study is devoted to the evaluation of panelists' responses when presented with acetone/air mixtures of a defined concentration. The results are of major importance for the training of the panelists and the practical implementation of ISO 16000-28.

Download (Open Access)

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12262/full>

ANHANG II

Sensory evaluation of building products: influences of direct and indirect assessment

T. Salthammer, N. Schulz, R. Stolte, E. Uhde

14th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Ghent, Belgium

Accepted for publication, Paper ID 412

ABSTRACT

The release of volatile organic compounds from building products may influence the perceived air quality in the indoor environment. Consequently, building products need to be assessed for the acceptability of emitted odors. The standard ISO 16000-28 describes the evaluation of perceived odor in test chambers with trained panelists, being calibrated with diluted acetone. For the direct odor assessment ISO 16000-28 requires an air flow of 0.6 – 1.0 l/s at the chamber outlet. To meet these conditions, the minimum chamber volume is about 3 m³. If smaller chambers are applied, air must be collected from the chamber outlet into containers for an indirect odor assessment. Procedures for cleaning and storage are provided in the ISO-standard. Nevertheless, the indirect assessment method has a number of pitfalls and drawbacks. Experiments with different types of building products have shown that the composition of sampled air might be influenced by the container material due to sink effects and leakage.

Sensory evaluation of building products: a critical discussion of the overall method

T. Salthammer, N. Schulz, R. Stolte, E. Uhde

14th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Ghent, Belgium

Accepted for publication, Paper ID 478

ABSTRACT

Sensory testing is a criterion in many building product evaluation schemes, usually in combination with the determination of volatile organic compounds in the chamber air. The objective of a current research project was to evaluate the proposed methods of perceived intensity with respect to ISO 16000-28 for their suitability in practice. Our results clearly demonstrate that a) the analytical determination of acetone/air reference gas by use of an FID is a sophisticated task and requires careful calibration and individual determination of correction factors; b) air sampling and assessment methods are not adequately described; c) in most cases the assumed normality distribution of the data must be rejected; d) individual responses are skewed; e) the response of panelists to acetone reference concentrations does not follow the linear calibration curve. In summary, ISO 16000-28 needs a comprehensive evaluation regarding precision and robustness.