

TEXTE

11/2023

Abschlussbericht

Geruchsbeschwerden in Innenräumen - Auswertung von Daten zu VOC-Vorkommen und Quellensuche

von:

Dr. Heidrun Hofmann, Matthias Schmidt (AP 4), Jörg Thumulla (AP 4)

für die Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF), Springe-Eldagsen

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 11/2023

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3717 62 211 0

FB000895

Abschlussbericht

Geruchsbeschwerden in Innenräumen - Auswertung von Daten zu VOC-Vorkommen und Quellensuche

von

Dr. Heidrun Hofmann, Matthias Schmidt (AP 4), Jörg
Thumulla (AP 4)

für die Arbeitsgemeinschaft ökologischer
Forschungsinstitute e.V. (AGÖF), Springe-Eldagsen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f](https://www.facebook.com/uba.de)/[Facebookseite des Umweltbundesamtes](https://www.facebook.com/uba.de)

[t](https://twitter.com/umweltbundesamt)/[umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF)
Energie- und Umweltzentrum 1
31832 Springe-Eldagsen

Abschlussdatum:

September 2022

Redaktion:

Fachgebiet FB II 1.3 Innenraumhygiene, gesundheitsbezogene Umweltbelastungen
Fachbegleitung Anja Daniels

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Geruchsbeschwerden in Innenräumen - Auswertung von Daten zu VOC-Vorkommen und Quellensuche

In zwei bereits durchgeführten Projekten VOC DB 1 und VOC DB 2 (FKZ 205 61 234 und FKZ 3709 62 211) wurden neben umfangreichen Daten zum Vorkommen von VOC in Innenräumen und weiteren Begleitinformationen auch Angaben zum Vorliegen von Gerüchen erfasst. Diese Daten werden nun unter Berücksichtigung der Geruchsangaben ausgewertet. Die statistischen Kenndaten für VOC in Räumen mit und ohne Geruch werden verglichen und den vorläufigen Geruchsleitwerten gegenübergestellt. Es wird eine Stoffliste mit den in geruchsauffälligen Räumen häufiger und in höheren Konzentrationen nachgewiesenen VOC vorgelegt.

328 neue Geruchsfälle werden in die angepasste Datenbank VOC DB 3 aufgenommen und statistisch ausgewertet. In 76 Fällen erfolgte zusätzlich eine Bestimmung der Luftwechselrate. Die Daten werden auf der Grundlage der erfassten Zusatzinformationen beschrieben. Die statistischen Kenndaten werden mit den Auswertungen für die Altdaten und Innenraumrichtwerten verglichen.

Auf der Grundlage der eingegangenen Geruchsbeschwerdefälle der AGÖF Institute wird eine Systematik für Geruchsquellen in Innenräumen erstellt. Methoden für die Quellen- und Ursachenermittlung in Geruchsbeschwerdefällen werden beschrieben. Anhand von Fallbeispielen werden die Vielfalt, der in Innenräumen vorkommenden Ursachen, für Geruchsbeschwerden und die fallspezifisch in Frage kommenden Geruchsstoffe dargestellt.

Abstract: Indoor air complaints - Evaluation of data on VOC occurrence and source search

In two completed projects, VOC DB 1 and VOC DB 2 (FKZ 205 61 234 and FKZ 3709 62 211), data on the presence of odors were collected in addition to extensive data on the occurrence of VOCs in indoor spaces and other accompanying information. These data are now being evaluated retrospectively, considering the odor data. The statistical characteristic data for VOCs in rooms with and without odor are compared and contrasted with the preliminary odor guide values. A list of substances with VOCs detected more frequently and in higher concentrations in rooms with odors is compiled.

328 new odor cases are included in the adapted database VOC DB 3 and statistically evaluated. In 76 cases, a determination of the air exchange rate was also made. The data are described on the basis of the recorded additional information. The statistical characteristics are compared with the evaluations for the old data and indoor guideline values.

Based on the odor complaint cases received from the AGÖF institutes, a classification system for odor sources in indoor spaces is created. Methods for source and cause identification in odor complaint cases are described. Case studies are used to illustrate the variety of causes of odor complaints occurring indoors and the odorants that come into question in specific cases.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildungsverzeichnis..... | 12 |
| Tabellenverzeichnis..... | 14 |
| Abkürzungsverzeichnis..... | 16 |
| Zusammenfassung..... | 21 |
| Summary..... | 31 |
| 1 Einleitung..... | 41 |
| 2 Material und Methoden..... | 42 |
| 2.1 Datenbank VOC DB 1 und 2..... | 42 |
| 2.2 Datenaufnahme VOC DB 3..... | 42 |
| 2.2.1 Vorerhebung..... | 42 |
| 2.2.2 Import-Tool..... | 42 |
| 2.2.3 Datenbereitstellung..... | 44 |
| 2.3 Datenerfassung und Auswertung..... | 44 |
| 3 AP 1: Auswertung der Daten der VOC DB 1 und 2..... | 45 |
| 3.1 Beschreibung der Datenbasis..... | 45 |
| 3.2 Auswahl der Teilgruppen..... | 46 |
| 3.2.1 Anlass..... | 46 |
| 3.2.2 Angaben zum Raumgeruch..... | 47 |
| 3.2.3 Kombination der Merkmale..... | 48 |
| 3.3 Geruchsbildende flüchtige organische Verbindungen in Innenräumen..... | 49 |
| 3.4 Vergleich statistischer Kenndaten für die Teilgruppen Geruch ja und Geruch nein gegenüber Gesamtgruppe..... | 51 |
| 3.5 Ergebnisse..... | 52 |
| 3.5.1 Alkane (n-Alkane, Isoalkane und Cycloalkane)..... | 52 |
| 3.5.2 Alkene..... | 53 |
| 3.5.3 Aromaten..... | 53 |
| 3.5.4 Halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW)..... | 54 |
| 3.5.5 Alkohole..... | 54 |
| 3.5.6 Terpenoide Verbindungen..... | 55 |
| 3.5.7 Aldehyde..... | 55 |
| 3.5.8 Ketone..... | 56 |
| 3.5.9 Ester ein- und zweiwertiger Alkohole..... | 56 |
| 3.5.10 Mehrwertige Alkohole und deren Ether (Glykole und Glykolether)..... | 57 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.5.11 | Siloxane..... | 57 |
| 3.5.12 | Organische Säuren | 58 |
| 3.5.13 | Sonstige Verbindungen | 58 |
| 3.5.14 | TVOC | 59 |
| 3.6 | Stoffliste | 59 |
| 3.7 | Vergleich der VOC-Konzentrationen mit den vorläufigen Geruchsleitwerten..... | 62 |
| 4 | AP 2: Aufnahme von Daten aus geruchsauffälligen Räumen..... | 73 |
| 4.1 | Vorerhebung | 73 |
| 4.2 | Beschreibung der Datenbasis..... | 74 |
| 4.2.1 | Beteiligte Institute..... | 74 |
| 4.2.2 | Zusatzinformationen..... | 75 |
| 4.2.2.1 | Anlass der Untersuchung | 76 |
| 4.2.3 | Angaben zum Gebäude | 77 |
| 4.2.3.1 | Ort (PLZ)..... | 77 |
| 4.2.3.2 | Bauweise..... | 77 |
| 4.2.3.3 | Baualtersklasse | 79 |
| 4.2.3.4 | Nutzung..... | 79 |
| 4.2.4 | Angaben zum Raum | 80 |
| 4.2.4.1 | Raumnutzung..... | 81 |
| 4.2.4.2 | Belüftung | 82 |
| 4.2.4.3 | Fußbodenbelag | 83 |
| 4.2.4.4 | Wände..... | 84 |
| 4.2.4.5 | Decke | 85 |
| 4.2.4.6 | Innenraum-Renovierung..... | 86 |
| 4.2.5 | Angaben zur Probenahme..... | 88 |
| 4.2.5.1 | Zeitpunkt der Probenahme | 88 |
| 4.2.5.2 | Untersuchungsziel..... | 89 |
| 4.2.5.3 | Lüftungsbedingungen | 90 |
| 4.2.5.4 | Raumsituation..... | 91 |
| 4.2.5.5 | Temperatur | 95 |
| 4.2.5.6 | Feuchte | 95 |
| 4.2.5.7 | Luftwechselrate | 96 |
| 5 | AP 3: Vergleich des VOC-Vorkommens in Räumen mit und ohne Geruchsbeschwerden..... | 99 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.1 | Vergleich der VOC-Konzentrationen von Geruchsfällen (Geruch ja DB 1 und 2 und DB 3 Geruch ja mit Geruch nein DB 1 und 2)..... | 99 |
| 5.2 | Beschreibung der Stoffgruppen / Stoffspektrum | 99 |
| 5.2.1 | Alkane (n-Alkane, Isoalkane und Cycloalkane) | 99 |
| 5.2.2 | Alkene | 99 |
| 5.2.3 | Aromaten | 100 |
| 5.2.4 | Halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW)..... | 101 |
| 5.2.5 | Alkohole | 101 |
| 5.2.6 | Terpenoide Verbindungen | 102 |
| 5.2.7 | Aldehyde | 102 |
| 5.2.8 | Ketone..... | 102 |
| 5.2.9 | Ester ein- und zweiwertiger Alkohole | 103 |
| 5.2.10 | Mehrwertige Alkohole und deren Ether (Glykole und Glykolether)..... | 103 |
| 5.2.11 | Siloxane..... | 103 |
| 5.2.12 | Organische Säuren | 104 |
| 5.2.13 | Sonstige Verbindungen | 104 |
| 5.2.14 | Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und ähnliche Verbindungen..... | 105 |
| 5.2.15 | Flammschutzmittel auf der Basis von Phosphorsäureestern | 105 |
| 5.2.16 | TVOC | 105 |
| 5.2.17 | Stoffliste..... | 106 |
| 5.3 | Vergleich der VOC-Konzentrationen für verschiedene Geruchsintensitätsgruppen (Geruchsintensität < 3 und ≥ 3)..... | 109 |
| 5.4 | Konzentration von Geruchsstoffen und Geruchsintensität | 112 |
| 5.5 | Vergleich der VOC-Konzentrationen für die Raumnutzungsarten Büroraum, Klassenraum und Wohnraum | 115 |
| 5.6 | Vergleich der VOC-Konzentrationen bei unterschiedlichen Lüftungsbedingungen..... | 118 |
| 5.7 | Luftwechselraten und Raumluftkonzentrationen | 120 |
| 5.8 | Vergleich mit Richtwerten..... | 124 |
| 6 | Diskussion..... | 134 |
| 6.1 | Zusammensetzung der Stichprobe | 134 |
| 6.2 | Substanzspektrum..... | 135 |
| 6.3 | Raumluftkonzentrationen | 136 |
| 6.4 | Einflussfaktoren | 137 |
| 6.4.1 | Klimatische Bedingungen | 137 |
| 6.4.2 | Gebäudemerkmale..... | 138 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 6.4.3 | Ausstattung..... | 138 |
| 6.4.4 | Raumnutzung..... | 138 |
| 6.4.5 | Lüftungsbedingungen / Luftwechselrate..... | 139 |
| 6.4.6 | Probenahme nach Renovierung oder Neubau | 140 |
| 6.4.7 | Sensorische Bewertung..... | 140 |
| 7 | AP 4: Systematische Auswertung von Geruch-Schadensfällen um typische Quellen / Faktoren, die zu Geruchsproblemen führen, zu identifizieren | 142 |
| 7.1 | Einleitung | 142 |
| 7.2 | Beschreibung von Verfahren | 142 |
| 7.2.1 | Chemisch-Analytische Erfassung von Gerüchen..... | 143 |
| 7.2.1.1 | Raumluftmessungen | 143 |
| 7.2.1.2 | Bibliotheksrecherche | 143 |
| 7.2.1.3 | Sniffing-GC | 143 |
| 7.2.2 | Sensorische Bewertung von Gerüchen | 144 |
| 7.2.3 | Identifizierung von Geruchsquellen | 145 |
| 7.2.3.1 | Chemisch-Analytische Verfahren | 145 |
| 7.2.3.2 | Geruchssensorische Verfahren | 146 |
| 7.2.4 | Bestimmung weiterer Einflussparameter..... | 147 |
| 7.2.4.1 | Luftwechselbestimmung..... | 147 |
| 7.2.4.2 | Unterdruckhaltung..... | 147 |
| 7.3 | Fallgruppe 1 – Unzureichender Luftaustausch | 147 |
| 7.3.1 | Fall 1: Verwaltungsgebäude | 148 |
| 7.3.2 | Fall 2: Neu erstellter Anbau eines Bürogebäudes | 149 |
| 7.3.3 | Fall 3: Verwaltungsgebäude auf einem Industriepark..... | 150 |
| 7.4 | Fallgruppe 2 – Bauteiloberflächen | 151 |
| 7.4.1 | Bodenbeläge | 151 |
| 7.4.1.1 | Teppichboden | 151 |
| 7.4.1.2 | Linoleum | 154 |
| 7.4.1.3 | Kautschuk..... | 154 |
| 7.4.1.4 | PVC-Böden | 156 |
| 7.4.1.5 | Parkett/Parkettbeschichtungen | 157 |
| 7.4.1.6 | Unterboden/Altbelag..... | 158 |
| 7.4.2 | Türen..... | 159 |
| 7.4.2.1 | Fall 1: Unangenehme Gerüche nach Streichen von Türstöcken | 159 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 7.4.3 | Wände/Decken | 160 |
| 7.4.3.1 | Wandfarben | 160 |
| 7.4.4 | Akustikdecken | 162 |
| 7.4.4.1 | Sekundäremissionen aufgrund der großen inneren Oberfläche | 162 |
| 7.4.4.2 | Fall 1: Geruchsbeschwerden nach Anbringen neuer Akustikdecken | 162 |
| 7.5 | Fallgruppe 3 – Bauteile..... | 162 |
| 7.5.1 | Boden | 162 |
| 7.5.1.1 | Abdichtung und Kleber | 162 |
| 7.5.1.2 | Dämmung | 164 |
| 7.5.2 | Decke/Wände | 164 |
| 7.5.2.1 | Fertighäuser | 164 |
| 7.5.2.2 | Holzständerbauten neu..... | 166 |
| 7.5.2.3 | Holzständerbauten alt..... | 167 |
| 7.5.2.4 | Container | 168 |
| 7.5.3 | Dach und Fassade | 169 |
| 7.5.3.1 | Fassadenabdichtung/Fassadenreinigung | 169 |
| 7.5.3.2 | Flachdachdämmung..... | 169 |
| 7.5.3.3 | Flachdachabdichtung | 171 |
| 7.5.3.4 | Fenster und Fensterabdichtungen | 171 |
| 7.6 | Fallgruppe 4 – Innenliegende Quellen..... | 173 |
| 7.6.1 | Möbel..... | 173 |
| 7.6.1.1 | Fall 1: Geruchsbeschwerden durch einen Ledersessel..... | 173 |
| 7.6.2 | Produktanwendungen..... | 174 |
| 7.6.2.1 | Heizungslack | 174 |
| 7.6.3 | Nutzung und ehemalige Nutzung..... | 174 |
| 7.6.3.1 | Umnutzung | 174 |
| 7.6.3.2 | Ehemalige Nutzung | 175 |
| 7.6.4 | Tote Tiere | 176 |
| 7.7 | Fallgruppe 5 – Außerhalb des Raumes liegende Quellen | 176 |
| 7.7.1 | Hausinstallation | 176 |
| 7.7.1.1 | Fall 1: Eintrag von Abwassergerüchen in ein Bankgebäude | 176 |
| 7.7.1.2 | Fall 2: Eintrag von Fettabscheidegerüchen in einer Spielhalle | 177 |
| 7.7.1.3 | Fall 3: Eintrag von Schwimmbadgerüchen in ein Hotel | 177 |
| 7.7.1.4 | Fall 4: Geruchsbelästigung durch eine Dunstabzugshaube | 178 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 7.7.2 | Ölheizung | 178 |
| 7.7.3 | Holzpelletheizung..... | 178 |
| 7.7.3.1 | Fall 1: Holzgeruch in einem Verwaltungsgebäude | 178 |
| 7.7.4 | Nutzung benachbarter Räume/Gebäude | 179 |
| 7.7.4.1 | Fall 1: Eintrag von Gerüchen aus einer Kunststofftütenherstellung..... | 179 |
| 7.7.4.2 | Fall 2: Eintrag von Emissionen von verpackten Zeitschriften | 179 |
| 7.7.4.3 | Nagelstudio | 180 |
| 7.7.4.4 | Fall 3: Eintrag von Geruchsemissionen aus einem asiatischen Imbiss in ein Möbelhaus | 180 |
| 7.7.5 | Kaminöfen in der Nachbarschaft..... | 180 |
| 7.7.6 | Tabakrauch aus benachbarten Wohnungen | 180 |
| 7.7.6.1 | Fall 1: Leckagen innerhalb des Gebäudes | 180 |
| 7.7.6.2 | Übertragung über die Außenluft..... | 181 |
| 8 | Fazit | 182 |
| 9 | Ausblick | 183 |
| 10 | Quellenverzeichnis | 184 |
| A | Anhang A + Anhang B | 189 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1: | Eingabemaske „Zusatzinformationen“ | 43 |
| Abbildung 2: | Anzahl der Nennungen pro Anlass (1. und 2. Anlass) für VOC DB 1 und 2; Nennungen insgesamt 9839. | 47 |
| Abbildung 3: | Häufigkeit des Auftretens der unterschiedlichen Stufen der Geruchsintensität in den ZI-Datensätzen. Es wurde auf ganzahlige Schritte gerundet; n = 622. | 48 |
| Abbildung 4: | Auswertung der Vorerhebung, Systematisierung der Quelle bzw. Ursache der Geruchsbeschwerde. | 73 |
| Abbildung 5: | Anzahl aller gelieferten ZI-Datensätze pro Institut. | 75 |
| Abbildung 6: | Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Postleitzahlenbereich. | 77 |
| Abbildung 7: | Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Bauweise. | 78 |
| Abbildung 8: | Prozentuale Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Bauweise bezogen auf die Gesamtzahl von 328 ZI-Datensätzen. Zu 14,3 % der ZI-Datensätze lagen keine Angaben vor. | 78 |
| Abbildung 9: | Prozentuale Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Altersklasse. | 79 |
| Abbildung 10: | Anzahl der ZI pro Gebäudenutzung mit zusätzlicher Angabe des Anteils an allen ZI-Datensätzen in Klammern. | 80 |
| Abbildung 11: | Anzahl der Räume je Nutzungstyp und zusätzliche Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern. | 82 |
| Abbildung 12: | Anzahl der ZI-Datensätze pro Lüftungstyp und zusätzliche Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der ZI-Datensätze in Klammern. | 83 |
| Abbildung 13: | Anzahl der Räume mit dem jeweiligen Fußbodenbelag und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern..... | 84 |
| Abbildung 14: | Anzahl der ZI-Datensätze mit Angabe der jeweiligen Art der Wandverkleidung und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der ZI-Datensätze in Klammern..... | 85 |
| Abbildung 15: | Anzahl der ZI-Datensätze mit Angabe der jeweiligen Art der Deckenverkleidung und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der ZI-Datensätze in Klammern..... | 85 |
| Abbildung 16: | Anzahl der ZI-Datensätze und der Zeit seit der letzten Renovierung. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl aller ZI-Datensätze. | 87 |
| Abbildung 17: | Anzahl und Anteil (in Klammern) der ZI-Datensätze pro Jahr. | 88 |
| Abbildung 18: | Anzahl und Anteil (in Klammern) der ZI-Datensätze pro Monat. | 89 |
| Abbildung 19: | Anzahl der ZI-Datensätze unterteilt nach Untersuchungsziel. | 90 |
| Abbildung 20: | Anzahl und Anteil der ZI-Datensätze unterteilt nach Lüftungsbedingungen. | 91 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 21: | Häufigkeit des Auftretens der unterschiedlichen Stufen der Geruchsintensität in den ZI-Datensätzen. Es wurde auf ganzzahlige Schritte gerundet; n = 323. | 92 |
| Abbildung 22: | Häufigkeit des Auftretens der unterschiedlichen Stufen der Hedonik in den ZI-Datensätzen. Es wurde auf ganzzahlige Schritte gerundet, n = 120. | 93 |
| Abbildung 23: | Häufigkeit des Auftretens der unterschiedlichen Stufen Akzeptanz in den ZI-Datensätzen. Es wurden jeweils zwei Akzeptanzniveaus zusammengefasst dargestellt (Bsp.: 0,5 und 0,6 zusammengefasst als 0,6), n = 107..... | 93 |
| Abbildung 24: | Auftragung der Geruchsintensität (x-Achse), Hedonik (y-Achse links) und Akzeptanz (y-Achse rechts) als Punktdiagramm zur Darstellung des gemeinsamen Auftretens der Skalenwerte in den ZI-Datensätzen. n = 107. | 94 |
| Abbildung 25: | Auftragung der Geruchsakzeptanz (x-Achse), Hedonik (y-Achse) als Punktdiagramm zur Darstellung des gemeinsamen Auftretens der Skalenwerte in den ZI-Datensätzen. n = 107..... | 94 |
| Abbildung 26: | Häufigkeiten verschiedener Raumtemperaturen [C°] während der Probenahme. | 95 |
| Abbildung 27: | Häufigkeiten verschiedener relativer Luftfeuchten [%] während der Probenahme. | 96 |
| Abbildung 28: | Verteilung der Luftwechselraten (/h). Klassen 0 bis 0,10; 0,11 bis 0,20 usw. Messwerte ohne Ausreißer (n=74)..... | 97 |
| Abbildung 29: | Luftwechselrate (LWR) in Räumen mit Fensterlüftung, technischen Lüftungsanlagen sowie allen Räumen Fensterlüftung, RLT und Klimatisierung. | 98 |
| Abbildung 30: | Konzentrationen für Naphthalin und Angaben zur Intensität | 113 |
| Abbildung 31: | Konzentrationen für Naphthalin und Angaben zur Hedonik..... | 113 |
| Abbildung 32: | Konzentrationen für Hexanal und Angaben zur Intensität..... | 114 |
| Abbildung 33: | Konzentrationen für 2-Ethylhexanol und Angaben zur Intensität..... | 114 |
| Abbildung 34: | Konzentrationen für Isododecene und Angaben zur Intensität | 115 |
| Abbildung 35: | TVOC-Konzentrationen und Angaben zur Intensität..... | 115 |
| Abbildung 36: | Luftwechselrate und Formaldehydkonzentration..... | 121 |
| Abbildung 37: | Luftwechselrate und n-Hexanalkonzentration. | 122 |
| Abbildung 38: | Luftwechselrate und Benzaldehydkonzentration. | 122 |
| Abbildung 39: | Luftwechselrate und Styrolkonzentration..... | 123 |
| Abbildung 40: | Luftwechselrate und 1-Butanolkonzentration. | 123 |
| Abbildung 41: | Luftwechselrate und 1,2-Propylenglykolmonomethylether-Konzentration. | 124 |
| Abbildung 42: | Schematische Darstellung eines TDS-GC-MS/O (Sniffing-GC-MS) zur olfaktorischen Analyse von Raumluftproben. | 144 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 1: | Statistische Kennwerte für den TVOC, Gesamtgruppe und die Teilgruppen „Geruch ja“, „Geruch nein“, „Anlass Abnahme“..... | 59 |
| Tabelle 2: | Statistische Kennwerte von einigen der in der Stoffliste genannten Verbindungen für die Gesamtgruppe und die Teilgruppen Geruch ja und Geruch nein | 61 |
| Tabelle 3: | Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gesamtgruppe DB 1 und 2. | 65 |
| Tabelle 4: | Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gruppe Geruch ja. | 67 |
| Tabelle 5: | Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gruppe Geruch nein. | 69 |
| Tabelle 6: | Häufigkeit der Geruchsleitwertüberschreitungen für Einzelstoffe im Vergleich..... | 71 |
| Tabelle 7: | Unterkategorien der Kategorie „Fußboden gesamt“. | 74 |
| Tabelle 8: | Anzahl der ZI und der Anlässe mit Einfach- und Mehrfachnennungen für die entsprechende Untersuchung..... | 76 |
| Tabelle 9 | Anzahl der Räume, die ein- oder mehrfach beprobt wurden. | 81 |
| Tabelle 10: | Anzahl der ZI-Datensätze pro Art der Renovierung mit Ein- und Mehrfachnennungen. | 86 |
| Tabelle 11: | Anzahl der ZI-Datensätze unterteilt nach Untersuchungsziel. | 90 |
| Tabelle 12: | Anzahl der Methoden für die Bestimmung der LWR. | 97 |
| Tabelle 13: | Belüftungsart der Räume, in denen die LWR bestimmt wurde..... | 97 |
| Tabelle 14: | Statistische Kennwerte der Luftwechselraten [/h] für Räume mit Fensterlüftung, Lüftungsanlage oder Klimaanlage sowie Gesamt (ohne Ausreißer)..... | 98 |
| Tabelle 15: | Vergleich der statistischen Kennwerte für das Dodecen-Isomerenmisch je nach Bodenbelagsausstattung. | 100 |
| Tabelle 16: | Vergleich der statistischen Kennwerte für den TVOC zwischen den Teilgruppen DB 1 und 2 Gesamt, Geruch ja, Geruch nein und DB 3 Gesamt, DB 3 Geruch ja..... | 106 |
| Tabelle 17: | Vergleich der Stoffkonzentrationen ausgewählter Stoffe zwischen den Teilgruppen DB 1 und 2 Geruch ja, DB 3 Geruch ja und DB 1 und 2 Geruch nein. | 107 |
| Tabelle 18: | Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Lüftungsbedingungen „Geruchsintensität ≥ 3 “ und „Geruchsintensität < 3 “. | 110 |
| Tabelle 19: | Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum (WR), Büroraum (BR), Klassenraum (KR)..... | 116 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabelle 20: | Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Lüftungsbedingungen „gelüftet“ und „ungelüftet“ | 119 |
| Tabelle 21: | Anzahl der Richtwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe und Stoffgruppen der VOC DB 2. | 126 |
| Tabelle 22: | Anzahl der Richtwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe und Stoffgruppen der VOC DB 3. | 129 |
| Tabelle 23: | Anzahl der Richtwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe und Stoffgruppen der VOC DB 2 und VOC DB 3..... | 132 |

Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Erläuterung |
|------------|--|
| AER | Air Exchange Rate (engl.), Luftwechselrate |
| AgBB | Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten |
| AGÖF | Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e. V. |
| AGLMB | Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamten der Länder |
| AIR | Ausschuss für Innenraumrichtwerte (vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe des IRK und der AGLMB/AOLG) |
| AOLG | Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden |
| AP | Arbeitspaket |
| BG | Bestimmungsgrenze |
| Bj | Baujahr |
| BMLFUW | österreichisches Bundesministerium für Landwirtschaft und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft |
| BR | Bürraum |
| BRD | Bundesrepublik Deutschland |
| bzw. | beziehungsweise |
| ca. | circa |
| CAS | Chemical Abstract Service |
| CAS-Nummer | eindeutiger Zahlenschlüssel für die Registrierung chemischer Verbindungen |
| CV | Cushion Vinyl (engl.), mehrschichtiger PVC-Bodenbelag mit asbesthaltiger Trägerschicht |
| DENA | Deutsche Energie-Agentur |
| DGNB | Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen |
| DGUV | Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung |
| DIBt | Deutsches Institut für Bautechnik |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DNPH | 2,4-Dinitrophenylhydrazin, Nachweisreagenz für Carbonyle |
| DS | Datensatz |
| EFH | Einfamilienhaus |
| EG | Erdgeschoss |
| EN | europäische Norm |
| engl. | englisch |
| EPA | Environmental Protection Agency, Umweltschutzbehörde der USA |
| et al. | Et alii (lat) und andere |
| etc. | et cetera (lat.) und andere Dinge |
| e.V. | eingetragener Verein |
| FB | Fußboden |
| FID | Flammenionisationsdetektor |

| | |
|-------------|--|
| FKZ | Förderkennzeichen |
| FLEC | Field- and Laboratory Emission-Cell (engl.), Instrument für zerstörungsfreie Messungen der Emissionen von Oberflächen |
| Geruch ja | Teilgruppe aus den Altdaten der Datenbanken VOC DB 1 und 2 gefiltert nach Anlass „Geruch“ und Raumsituation „Geruch ja“ |
| Geruch nein | Teilgruppe aus den Altdaten der Datenbanken VOC DB 1 und 2 gefiltert nach Anlass „alle Anlässe außer Geruch und Abnahme“ und Raumsituation „Geruch nein“ |
| ggfs. | gegebenenfalls |
| GC | Gaschromatographie |
| GLW | Geruchsleitwert des Ausschusses für Innenraumrichtwerte |
| GUT | Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. |
| h | Stunden |
| HKW | Halogenierte Kohlenwasserstoffe |
| HPLC | High Pressure Liquid Chromatographie (engl.), Hochdruckflüssigkeitschromatographie |
| HPLC-MS/MS | Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit Tandem Massenspektrometrie |
| H2-Sniffer | Gaslecksuchgerät für Wasserstoff |
| i.d.R. | in der Regel |
| insb. | insbesondere |
| inkl. | inklusive |
| IT | Import-Tool: Satz von Eingabemasken zur Eingabe der Messwerte und Begleitinformationen auf der Grundlage von MS Excel |
| IRK | Kommission für Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes |
| ISO | Internationale Organisation für Normung |
| Kennungen | Kennungen wurden für Methoden, QS-Verfahren und ZI-Datensätze vergeben, sie dienen der Erkennung des Datensatzes innerhalb des Import-Tools, um die eindeutige Zuordnung bei der Dateneingabe zu ermöglichen; jeder Datensatz besitzt eine Kennung |
| KfW | Kreditanstalt für Wiederaufbau |
| KR | Klassenraum |
| lat. | lateinisch |
| LWR | Luftwechselrate |
| M | Masse |
| Max | Maximum |
| Messwert | Hier abweichend zum sonst üblichen Verständnis: Konzentrationsangabe eines Stoffes in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, auch wenn die Konzentration nicht bestimmt werden konnte, weil sie $< \text{BG}$ ist |
| Methode | analytische Grundmethode |
| MFH | Mehrfamilienhaus |
| Min | Minimum |

| | |
|----------------|---|
| mind. | mindestens |
| Misch | Mischverfahren |
| Mischverfahren | Einsatz mehrerer Messverfahren für gleiche Stoffe, Mittelung der Ergebnisse |
| MS Access | Datenbank Software des Unternehmens Microsoft Corporation |
| MS | Massenspektrometrie (Massenselektiver Detektor) |
| MW | arithmetischer Mittelwert |
| MVOC | Mikrobiell erzeugte flüchtige organische Verbindungen |
| M+-Peak | Massenpeak im Chromatogramm des Massenspektrometers |
| N | Gesamtumfang, Fallzahl |
| n | Stichprobenumfang |
| n50 | Luftwechsel in einem Gebäude oder Raum bei 50 Pascal Über- oder Unterdruck |
| NIH | National Institutes of Health |
| NIST | National Institute of Standards and Technology (engl.) |
| NIST 14 | Spektrenbibliothek des National Institute of Standards and Technology |
| n.n. | nicht nachgewiesen |
| Nr. | Nummer |
| ODT | olfactory detection level (engl.), Geruchswahrnehmungsschwelle |
| ODT 50 | Die Konzentration einer Verbindung, bei der 50 % der prüfenden Gruppe einen Geruch wahrnehmen |
| OG | Obergeschoss |
| OSB | Oriented Strand Board (engl.), Grogspanplatte |
| P | Perzentil, statistische Kenngröße, die den Wert angibt, der von der genannten Prozentzahl der Werte unterschritten wird |
| P50 | Konzentrationswert einer Verteilung, der von 50 % der Werten unterschritten wird, Median |
| P90 | Konzentrationswert einer Verteilung, der von 90 % der Werten unterschritten wird |
| P95 | Konzentrationswert einer Verteilung, der von 95 % der Werten unterschritten wird |
| Pa | Pascal, Maßeinheit für Druck |
| PAK | Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PAH | Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (engl.), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PCB | polychlorierte Biphenyle |
| PCDD | polychlorierte Dibenzop-dioxine |
| PCDF | polychlorierte Dibenzofurane |
| PCP | Pentachlorphenol |
| PD-Wert | Percentage Dissatisfied (engl.), prozentualer Anteil der mit dem Umgebungszustand unzufriedenen Probanden einer Probandengruppe |

| | |
|-----------------------|--|
| Pers. | Personen |
| PID | Photo-Ionisationsdetektor |
| PLZ | Postleitzahl |
| PN | Probenahme |
| Probenr. | Probennummer |
| PU | Polyurethan |
| PVC | Polyvinylchlorid |
| QS | Qualitätsicherung |
| rel. F. | relative Luftfeuchtigkeit |
| RLT | raumluftechnische Anlage |
| RW | Innenraumrichtwert des Ausschusses für Innenraumrichtwerte |
| RW I | Richtwert I |
| RW II | Richtwert II |
| SD | Standard deviation (engl.), Standardabweichung |
| SDI-Test | Test zur Überprüfung der sensorischen Fähigkeiten in Bezug auf den Schwellenwert (S), die Diskrimination (D) und die Identifikation (I) von Geruchsstoffen |
| Sid | Summe identifizierter und substanzspezifisch quantifizierter Substanzen im Bereich C ₆ – C ₁₆ |
| Snid | Summe nicht identifizierter und über Toluol quantifizierter Substanzen im Bereich C ₆ – C ₁₆ |
| Sniffing-GC-MS | Gaschromatograph mit Massenspektrometer zur olfaktorischen Analyse von Raumlftproben |
| Sniffing-GC | Gaschromatograph zur olfaktorischen Analyse von Raumlftproben |
| SNV | schweizerische Vereinigung für Normung |
| Standard-QS-Verfahren | am häufigsten oder ausschließlich angewandte Messmethode mit den Kenndaten ihrer Qualitätssicherung eines Messwert-Datensatzes |
| SG | Stoffgruppe, nach chemischen Merkmalen gebildete Gruppen von Stoffen |
| SVOC | schwerflüchtige organische Verbindungen (semi-volatile organic compounds) (> C ₁₆ – C ₂₂) |
| Σ | Sigma (griech.), Summe |
| T | Temperatur |
| TCP | Tetrachlorphenol |
| TDS | Thermodesorption |
| TDS-GC-MS | Thermodesorption und Gaschromatographie mit Massenspektrometrie |
| TDS-GC-MS/O | Thermodesorption und Gaschromatographie mit Massenspektrometrie zur olfaktorischen Analyse von Raumlftproben |
| Tenax TA | polymeres Adsorberharz für die Thermodesorption |
| TVOC | Total Volatile Organic Compounds, Summe der flüchtigen organischen Verbindungen |

| | |
|------------------|--|
| TVOC Gesamtsumme | Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (Total Volatile Organic Compounds) in Anlehnung an die Definition durch den AgBB bzw. Ad-Hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG aus der Summe der identifizierten und nicht identifizierten Verbindungen im Bereich C ₆ – C ₁₆ |
| TVOC Toluol | Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (Total Volatile Organic Compounds) berechnet als Toluoläquivalent der Fläche des Chromatogramms im Bereich C ₆ – C ₁₆ |
| u.a. | unter anderem |
| UB | Unterboden |
| UBA | Umweltbundesamt |
| UFOPLAN | Umweltforschungsplan |
| USA | United States of America (engl.), Vereinigte Staaten von Amerika |
| usw. | und so weiter |
| U-Wert | Wärmedurchgangskoeffizient |
| VDA | Verband der Automobilindustrie e.V. |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure e.V. |
| vGLW I | vorläufiger Geruchsleitwert I |
| vGLW II | vorläufiger Geruchsleitwert II |
| VOC | Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds) |
| VOCDDB 1.0 | Kurzbezeichnung für die im Rahmen des Vorhabens VOC DB 1 erstellte VOC-Datenbank |
| VOCDDB 2.0 | Kurzbezeichnung für die im Rahmen des Vorhabens VOC DB 2 erweiterte VOC-Datenbank |
| VOCDDB 3.0 | Kurzbezeichnung für die im Rahmen des Vorhabens VOC DB 3 erweiterte VOC-Datenbank |
| VOC DB 1 | Forschungsvorhaben „Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft“ |
| VOC DB 2 | Forschungsvorhaben „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“ |
| VOC DB 3 | Forschungsvorhaben „Geruchsbeschwerden in Innenräumen – Auswertung von Daten zu VOC-Vorkommen und Quellensuche“ |
| VOCDDB-IT 2.0 | Datenerfassungs-Tool (Importtool) für VOCDDB 2.0 |
| VOCDDB-UI 2.0 | Userinterface (Auswertungstool) für VOCDDB 2.0 |
| Vol. | Volumen |
| VVOC | Sehr flüchtige organische Verbindungen (very volatile organic compounds) außerhalb des TVOC (< C ₆) |
| WaBoLu | Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V. |
| WR | Wohnraum |
| ZI | Zusatzinformationen, hier alle Angaben aus dem Tabellenblatt Zusatzinformationen des IT-Tools |
| ZI-Datensatz | Einheit an Zusatzinformationen eines Datensatzes |

Zusammenfassung

Die Ursachen für Gerüche in Innenräumen sind vielfältig. Die Wahrnehmung von untypischen oder als unangenehm empfundenen Gerüchen ist häufig mit der Sorge um eine gesundheitlich relevante Belastung verbunden. VOC-Messungen im Zusammenhang mit Geruchsbeschwerdefällen verfolgen einerseits das Ziel, die Ursache des Geruchs auf der stofflichen Ebene zu beleuchten. Andererseits können im Idealfall die Stoffe identifiziert werden, die für die Geruchsbildung verantwortlich sind und Rückschlüsse auf die Quelle erlauben. Zudem kann eine gesundheitsbezogene Bewertung der im Innenraum nachgewiesenen flüchtigen organischen Verbindungen erfolgen.

VOC Messungen im Zusammenhang mit Geruchsbeschwerdefällen stellen hierbei einen methodischen Baustein neben anderen für die Ermittlung und Bewertung von Geruchsstoffen in Innenräumen dar, der im Gesamtkontext der insgesamt zur Verfügung stehenden Methoden zu sehen ist. Da Geruchsstoffe nicht unbedingt mit den üblichen VOC-Standardverfahren ermittelt werden können, sind die methodischen Grenzen im Vorfeld zu beachten und zu kommunizieren. Je nach Fragestellung und Situation können andere Methoden (z.B. Sensorik oder Materialbeprobung) zielführender sein, wenn es darum geht Geruchsquellen zu lokalisieren, um diese beseitigen zu können.

Der vorliegende Bericht beschäftigt sich mit der Fragestellung, inwieweit sich das Vorkommen von VOC in geruchsauffälligen und nicht geruchsauffälligen Räumen unterscheidet, welche Quellen für Gerüche in Innenräumen auftreten und mit welchen stofflichen Auffälligkeiten sie einhergehen. Das Projekt nähert sich also aus zwei Richtungen der Identifikation von Geruchsstoffen: zum einen statistisch ausgehend von VOC-Datenbanken, zum anderen einzelfallbezogen ausgehend von Fallbeispielen.

In einem Arbeitspaket 1 wird die im Rahmen der Projekte „Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft“, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 61 234 (kurz: VOC DB 1), und „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3709 62 211 (kurz: VOC DB 2), erstellte Datenbank zum Vorkommen von VOC in Innenräumen mit 7436 Datensätzen aus den Jahren 2002 bis 2012 in Bezug auf geruchsbezogene Angaben ausgewertet.

Um Datensätze stratifizieren zu können, in denen Gerüche als Beschwerdeanlass vorlagen, werden die Merkmale Anlass und Raumsituation kombiniert. Folgende Kriterien werden für die Einteilung der Gruppen „Geruch ja“ und „Geruch nein“ verwendet:

Geruch ja: Anlass: Geruchsbeschwerde; Raumsituation: Geruch ja,

Geruch nein: Anlass: alle Anlässe außer Geruchsbeschwerde und Abnahme; Raumsituation: Geruch nein

Bei der Angabe des Anlasses waren Mehrfachnennungen möglich. Die Kombination Gesundheitsbeschwerden und Belästigung durch Gerüche tritt am häufigsten auf. Gerüche werden mit 2615 Nennungen (1. und 2. Anlass) als zweithäufigster Anlass genannt. Der Anlass Abnahme wird aus der Teilgruppe Geruch nein herausgenommen, da die bisherigen Auswertungen zeigen, dass in neuen oder frisch renovierten Gebäuden häufig höhere VOC-Konzentrationen gemessen werden. Für die so gebildeten Gruppen Gesamtdaten (inkl. Abnahmemessungen), Geruch ja und Geruch nein (ohne Abnahmemessungen) werden statistische Kenndaten erstellt, um das Vorkommen von VOC in geruchsunauffälligen und geruchsauffälligen Räumen untereinander sowie gegenüber der Gesamtgruppe zu vergleichen.

Im ersten Vorhaben wurde in 872 Fällen das Vorhandensein eines Geruchs bei der Probenahme dokumentiert. In 429 dieser Fälle erfolgte eine Beschreibung des Geruchs. In 308 Fällen wurde kein Geruch angegeben. Im zweiten Vorhaben wurde in 1403 Fällen Geruch ja angegeben und in 1103 Fällen Geruch nein. In 662 Geruch ja Fällen wurde die Intensität durch eine Einzelperson im Zuge der Probenahme bewertet. Verwendet wurde eine Skala von 0 bis 5: kein Geruch (0) / sehr schwach (1) / schwach (2) / mittel (3) / stark (4) / bis sehr stark (5). Im Mittel lag die Geruchsintensität bei 2,37.

Insgesamt wurden annähernd 500 Stoffe ausgewertet. Es werden alle Stoffe ohne eine Mindestanzahl an Messwerten aufgeführt. Da nicht alle Stoffe regelmäßig und von allen Instituten gemessen werden, variiert die Stichprobengröße in der Gesamtgruppe von 1 bis 6048, in der Geruch-ja-Gruppe von 1 bis 562 und in der Geruch-nein-Gruppe von 1 bis 633. Die maximale Stichprobengröße wird jeweils für n-Hexanal erreicht.

Die Auswertungen zeigen für die meisten der untersuchten Verbindungen höhere Konzentrationen in der Gesamtgruppe. Für einige der untersuchten Verbindungen (mit mindestens 25 Messwerten) wurden in Räumen mit Gerüchen häufiger Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze und höhere Konzentrationen ermittelt. Hierzu gehören Cyclopentan und 1-Hepten; die Aromaten: m-/p-Kresol, Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin; die Terpene, Δ -3-Caren und α -Terpineol; bei den Ketonen Acetophenon, bei den Estern der Weichmacher Texanol, die Aldehyde Acetaldehyd, Propanal, Pentanal, Hexanal und Furfural, die Alkansäuren Essigsäure, n-Butansäure, iso-Butansäure, Pentansäure und n-Hexansäure sowie die Schwefelverbindungen Dimethylsulfid, 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on, Benzothiazol.

Hierbei handelt es sich sowohl um in Innenräumen auftretende typische Geruchsstoffe als auch Verbindungen, von denen nicht zu erwarten ist, dass sie in den Konzentrationen, in denen sie in Innenräumen üblicherweise auftreten, einen relevanten Beitrag zum Raumgeruch leisten. Dagegen waren Verbindungen, die als Geruchsstoff in Innenräumen relevant sind, wie z.B. n-Butylacetat, in der Geruchsgruppe unauffällig, was möglicherweise im Fall von n-Butylacetat darauf zurückzuführen ist, dass das Lösungsmittel auch bei Abnahmemessungen in höheren Konzentrationen vorliegen kann. Für Verbindungen, die in neuen Gebäuden häufiger in höheren Konzentrationen gemessen werden, waren die Konzentrationen in der Geruchsgruppe eher niedriger. Hierzu gehören beispielsweise die Ketone 2-Butanon (MEK) und MIBK; die Ester Ethylacetat und Butylacetat; die Glykolderivate Propylenglykolmonomethyletheracetat und Ethylenglykolmonobutylether und 2-Butanonoxim. Diese Unterschiede spiegeln sich auch in den TVOC Summenwerten.

Die höchsten Perzentile wurden in der Gruppe Abnahmemessungen (VOC Messungen, die spätestens 4 Wochen nach Fertigstellung von Bau- oder Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden) ermittelt. Die niedrigsten Perzentile liegen in der Gruppe Geruch nein vor. Die 50., 90. und 95. Perzentile in der Geruch-ja-Gruppe liegen leicht unter den Perzentilen der Gesamtgruppe.

Grundlegend ist zu berücksichtigen, dass es sich hier um eine statistische Auswertung handelt und nicht um eine systematische Untersuchung möglicher Geruchsstoffe. Das heißt statistisch auffällig können in der Geruchsgruppe auch Stoffe sein, die selbst keinen relevanten Beitrag zum Raumgeruch leisten. Wohingegen die für den Geruch verantwortlichen flüchtigen organischen Verbindungen auch außerhalb des analytisch messbaren Spektrums liegen können und mit dieser Herangehensweise nicht erfasst werden.

Vergleicht man die statistischen Kenndaten der Teilgruppen Geruch ja und Geruch nein sowie der Gesamtgruppe mit den vorläufigen Geruchsleitwerten für 31 flüchtige organische Verbindungen, die 2013 von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission

Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (jetzt: Ausschuss für Innenraumrichtwerte AIR) veröffentlicht wurden (Umweltbundesamt 2014), liegen die häufigsten Überschreitungen der vorläufigen Geruchsleitwerte bei Messungen in überwiegend mindestens 8 Stunden ungelüfteten Räumen in allen drei Gruppen bei den Aldehyden vor. Der vorläufige Geruchsleitwert II (vGLW II) wurde in der Geruch-ja-Gruppe für Hexanal in 11,2 % der Fälle überschritten. In der Gesamtgruppe lag der Anteil bei 8,3 % und in der Geruch-nein-Gruppe bei 4,1 %. Dagegen wurde der vorläufige Geruchsleitwert I (vGLW I) am häufigsten, in 62,5 % der Messungen, in der Gesamtgruppe überschritten. In der Geruch-ja-Gruppe lag der Anteil ähnlich hoch, bei 61,4 % und in der Geruch-nein-Gruppe noch bei 48 %.

Für Ethanal wurde der vGLW II seltener überschritten. In der Geruch-ja-Gruppe lag der Anteil bei 2,0 %, in der Gesamtgruppe bei 1,9 % der Fälle und in der Geruch-nein-Gruppe wurde der vGLW II in keinem Fall überschritten. In der Geruch-ja-Gruppe lag der Anteil oberhalb des vGLW I bei 59,6 %, in der Gesamtgruppe bei 51,5 % der Messungen und in der Geruch-nein-Gruppe bei 40,1 %. Bei den übrigen Verbindungen wurde der vGLW II nur selten überschritten.

Die größten Unterschiede bei den prozentualen Überschreitungen der Geruchsleitwerte zwischen der Gesamtgruppe und der Geruch-ja-Gruppe liegen für m-/p-Kresol vor. Der vGLW II wird in der Geruch-ja-Gruppe in 6,5 % und der vGLW I in 26,1 % der Fälle überschritten. In der Gesamtgruppe sind es für den vGLW II nur 1,2 % der Messwerte und für den vGLW I 5,2 %.

Für n-Butylacetat werden die vGLW I und II häufiger in der Gesamtgruppe überschritten. Für Benzothiazol sind die vGLW I-Überschreitungen in der Geruchgruppe häufiger; vGLW II-Überschreitungen treten dagegen nur in der Gesamtgruppe auf.

Insgesamt sind die Unterschiede der prozentualen Überschreitungen zwischen der Gesamtgruppe und der Geruch-ja-Gruppe - außer bei m-/p-Kresol - weniger deutlich als erwartet.

Für die Neuaufnahme von 100 Datensätzen aus geruchsauffälligen Räumen wurde zunächst eine Befragung bei den AGÖF-Mitgliedern über das Interesse an einer Beteiligung und Art und Umfang der Geruchsfälle durchgeführt. Auf der Grundlage der Rückmeldungen erfolgte eine Gliederung der Quellen und Ursachen für Gerüche, die in Innenräumen zu Beschwerden führen. Anhand dieser Gliederung wurde die in Kapitel 7 beschriebene Systematik für Geruchsbeschwerdefälle erstellt. Von den 289 zurückgemeldeten Fallbeschreibungen traten in 104 Fällen Geruchsbeschwerden im Zusammenhang mit einer Geruchsquelle innerhalb des Fußbodens auf. In 43 Fällen war die Ursache der Geruchsbildung unbekannt. Anhand der Anmeldungen wurde festgelegt wie viele Datensätze von den Instituten bereitgestellt werden können. Es wurden insgesamt 14 Institute an der Datenbereitstellung beteiligt. Die Anzahl der gelieferten Datensätze variierte zwischen vier und 74 Datensätzen. Für die Aufnahme der Daten wurde das bereits im Rahmen der beiden Vorhaben VOC DB 1 und 2 entwickelte Import-Tool eingesetzt. Die Daten konnten vollständig oder teilweise durch die Institute in das Import-Tool eingetragen werden. Es bestand auch die Möglichkeit, entsprechende Unterlagen bereitzustellen, um die Daten durch die Projektleitung eintragen zu lassen. Insgesamt wurden 328 Datensätze in die Datenbank aufgenommen, in 61 Fällen inklusive einer Bestimmung der Luftwechselrate.

Die Probenahmeorte verteilen sich entsprechend den Sitzen der beteiligten Institute sehr unterschiedlich auf die zehn Postleitzahlenbereiche von 0 bis 9. Es konnten Datensätze ab dem Probenahmezeitpunkt 2012 geliefert werden. Der überwiegende Teil der Probenahmen (81,4 %) erfolgte zwischen 2015 und 2018, davon die meisten 2017 (36,3 %). In den Monaten Juli und August war die Anzahl der monatlichen Probenahmen am höchsten, im Dezember am geringsten. Die Messungen erfolgten in der Regel als Statusmessung in den über mindestens 8 Stunden ungelüfteten Räumen. Der Anlass Geruch wurde in insgesamt 283 Fällen genannt, davon in 167 Fällen als alleiniger Anlass und in den übrigen Fällen in Kombination mit

Gesundheitsbeschwerden und /oder Expositionsverdacht. Bei den übrigen 45 Fällen wurden als Anlässe Gesundheitsbeschwerden (3 Fälle), Expositionsverdacht (14 Fälle) und Abnahme (28 Fälle) genannt. Bei der Bauweise dominierten massive Mauerwerksbauten. Die Auswertung der Baujahre ergab einen vergleichsweise hohen Anteil an neuen Gebäuden (ab 2017) und alten Gebäuden (vor 1918) Die Messungen erfolgten in 55,2 % der Fälle in gewerblich genutzten Gebäuden. In 50,8 % der Fälle handelte es sich um Bürogebäude. Der Anteil mit Wohngebäuden war mit 18,3 % noch geringer als der Anteil an pädagogischen Einrichtungen mit 26,5 %. Die Belüftung der untersuchten Räume erfolgte in 79,6 % manuell durch Fensterlüftung. Bei der Ausstattung der Räume dominierten verklebte Teppichböden (33,8 %), verputzt Wände (51,5 %) und verputzte Decken (42,4 %). In 200 Fällen wurden Angaben zur Renovierung gemacht. In 67 Fällen war es den Nutzenden nicht bekannt, ob in den letzten 5 Jahren eine Renovierung erfolgte. Am häufigsten, mit 80 Nennungen, wurde die Erneuerung des Fußbodens genannt. Kombinationen von Renovierungsmaßnahmen waren häufiger als Einzelmaßnahmen. Es wurden nur wenige Angaben zum Zeitpunkt der Renovierung gemacht.

Für die Geruchsintensität (Skala von 0 bis 5) wurden Bewertungen zwischen 1 und 5 abgegeben. Am häufigsten wurde die Geruchsintensität 3 (mittlerer Geruch) genannt. Im Mittel lag die Geruchsintensität bei 2,82. Die Hedonik (Skala -4 bis +4) lag im Mittel bei -1,33 und die Akzeptanz (Skala -1 bis +1) bei -0,33. Während die Korrelation der Geruchsintensität mit der Hedonik und der Akzeptanz gering war, das heißt auch bei geringer Geruchsintensität ein Geruch als unangenehm und nicht akzeptabel bewertet wurde, korrelierten die Parameter Hedonik und Akzeptanz deutlicher, das heißt ein unangenehmer Geruch wurde in der Regel auch als nicht akzeptabel eingestuft. Die Temperatur während der Probenahme lag im Mittel bei 22,63 °C. Die relative Raumluftfeuchtigkeit erreichte im Durchschnitt 47,26 %. Gegenüber den Probenahmebedingungen der VOC DB 2 war es in den untersuchten Räumen etwas wärmer und die relative Raumluftfeuchtigkeit etwas geringer. Die durchschnittliche Luftwechselrate in Räumen mit Fensterlüftung wurde mit 0,17 /h (n=57) bestimmt und war damit etwas höher als sie im Rahmen der VOC DB 2 für Räume mit Fensterlüftung ermittelt wurde (LWR 0,13 /h; n= 48). In elf Räumen mit Lüftungsanlage lag die mittlere Luftwechselrate bei 0,51 /h. Zum Vergleich: Für die mittlere Luftwechselrate in Räumen mit Lüftungsanlage wurde in der VOC DB 3 ein Wert von 0,63 (n = 52) bestimmt.

Vergleicht man die statistischen Kennwerte der VOC DB 3 mit den Ergebnissen der Auswertungen für die Geruch-ja- und die Geruch-nein-Gruppe der VOC DB 1 und 2 zeigen sich einige deutliche Unterschiede. In der DB 3 wurden gegenüber den Altdaten deutlich höhere Konzentrationen für die Aromaten 2-Ethyltoluol, 1,2,4-Trimethylbenzol, Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin und Indan ermittelt. Während für Geruchsbeschwerdefälle im Zusammenhang mit Raumluftbelastungen durch Alkylbenzole die Anwendung lösungsmittelhaltiger Produkte zu vermuten ist, weisen hohe Konzentrationen von Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin und Indan auf das Vorhandensein von Teerprodukten hin. Geruchsfälle mit hohen Belastungen durch m/p-Kresol sind in der VOC DB 3 dagegen in deutlich geringerem Umfang vertreten als innerhalb der Geruchsgruppe der DB 1 und 2. Die Perzentile für Toluol ergaben bei den Altdaten in der Geruchsgruppe höhere Werte als in der Gruppe ohne Geruch. In der Geruchsgruppe der VOC DB 3 liegen das 90. und das 95. Perzentil für Toluol unter den Werten der in der Gruppe ohne Geruch der Altdaten. Auch die Geruchsfälle der DB 3 zeigen, wie auch die Geruchsfälle der DB 1 und 2 gegenüber den Fällen ohne Geruch der DB 1 und 2, höhere Perzentile für Cyclopentan, obwohl in den hier gemessenen Konzentrationsbereichen nicht von einer Beteiligung dieser Verbindung an der Geruchsbildung auszugehen ist. Statistisch gesehen treten auffällige Konzentrationen für Cyclopentan z.B. im Zusammenhang mit erhöhten Emissionen von Pentanisomeren aus Polystyrolprodukten auf. Vergleichsweise hohe Konzentrationen wurden in der Geruchsgruppe der DB 3 für Formaldehyd

gemessen. Das 95. Perzentil wurde mit $167,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt. Für Acetaldehyd, n-Hexanal und Benzaldehyd waren die Konzentrationen innerhalb der Geruchsgruppe der Altdaten höher als in der DB 3. Für Furfural sind die 90. und 95. Perzentile ähnlich. Während 1-Hepten in der Geruchsgruppe der Altdaten in höheren Konzentrationen als in der Gruppe Geruch nein gemessen wurde, lagen das 90. und 95. Perzentil in der Geruchsgruppe der DB 3 unterhalb der Bestimmungsgrenze. Für das neu in die Datenbank aufgenommene Substanzgemisch Dodecenisomere wurden in der Geruchsgruppe der DB 3 hohe Konzentrationen ermittelt. Geruchsbeschwerdefälle im Zusammenhang mit Belastungen durch Isododecene weisen auf Geruchsstoffemissionen aus Styrol-Butadien-Latex in der Regel aus Teppichböden hin (siehe hierzu auch Kapitel 7.4.1). Die 90. und 95. Perzentile für die als Geruchsstoffe in textilen Bodenbelägen identifizierten Verbindungen 4-Vinylcyclohexen und 4-Phenylcyclohexen waren in beiden Geruchsgruppen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Bei den Alkoholen sind die Unterschiede zwischen den Gruppen relativ gering. Auffällig sind die hohen Perzentile für das neu in die Datenbank aufgenommene Substanzgemisch Isononanol. Es ist anzunehmen, dass die Geruchsbeschwerdefälle im Zusammenhang mit Isononanol überwiegen auf die Hydrolyse des Weichmachers Diisononylphthalat aus PVC zurückzuführen sind. Die Konzentrationen der Terpene α -Pinen und Δ -3-Caren waren in der Geruchsgruppe der DB 3 unauffällig. Cyclohexanon wurde in der Geruchsgruppe der DB 3 in höheren Konzentrationen gemessen, während Acetophenon in der Geruchsgruppe der Altdaten in höheren Konzentrationen vorlag. Während n-Butylacetat und Texanol in der Geruchsgruppe der Altdaten in höheren Konzentrationen vorkamen, lieferte die DB 3 höhere Konzentrationen für Methacrylsäuremethylester (MMA). n-Butylacetat und Texanol werden als Lösungsmittel bzw. Lösungsvermittler / Weichmacher in Lacken eingesetzt. Bei MMA handelt es sich um ein Kunststoffmonomer, das bei der Herstellung von Bodenbeschichtungen zu Geruchsproblemen führen kann. Obwohl Glykolverbindungen und Siloxane in Innenräumen nicht zu den geruchsbildenden Verbindungen gehören, wurden in der Geruchsgruppe der DB 3 höhere Perzentilwerte für Ethylenglykolmonobutylether, 1,2-Propylenglykolmonomethylether und Hexamethylcyclotrisiloxan (D3) als in der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 bzw. der Gruppe ohne Geruch bestimmt. Während Essigsäure bei den Altdaten in der Geruchsgruppe über den Konzentrationen der VOC DB 3 und Gruppe ohne Geruch lag, wurden für Propionsäure und n-Butansäure höhere Perzentile für die VOC DB 3 Geruchsgruppe ermittelt. Geruchsbeschwerdefälle im Zusammenhang mit Benzothiazol, die in der Regel auf entsprechende Emissionen aus neuen Kautschukbodenbelägen zurückzuführen sind, waren dagegen in der VOC DB 3 seltener vertreten. Für die Schwefelverbindungen Dimethylsulfid und Dimethylsulfoxid wurden in der DB 3 sehr hohe Konzentrationen ermittelt, die hier u.a. im Zusammenhang mit Lösungsmitteln zur Entfernung von Graffiti auftraten. Für den TVOC wurden für die Geruchsgruppe der DB 3 deutlich höhere Perzentile (P90: $2204 \mu\text{g}/\text{m}^3$, P95: $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) im Vergleich zu den Altdaten (Geruch ja -Gruppe P90: $1460 \mu\text{g}/\text{m}^3$, P95: $2060 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Geruch-nein-Gruppe P90: $957 \mu\text{g}/\text{m}^3$, P95: $1630 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ermittelt. Das 90. und das 95. Perzentil für die Geruchsgruppe der VOC DB 3 liegt in Höhe der entsprechenden Perzentile der Gruppe Abnahme aus den Altdaten und somit ebenfalls deutlich über den Perzentilwerten der Gesamtgruppe VOC DB 1 und 2.

Um Unterschiede der VOC-Konzentrationen abhängig von möglichen Einflussfaktoren zu betrachten, wurden für die statistische Auswertung nachfolgende Teilgruppen differenziert:

- ▶ Geruchsintensität: ≥ 3 und < 3 ,
- ▶ Raumnutzungstyp: Büro, Klassenraum und Wohnraum,
- ▶ Lüftungszustand: gelüftet und ungelüftet.

Bei VOC-Messungen, in denen die Geruchsintensität bei ≥ 3 lag, wurden überwiegend höhere Raumlufkonzentrationen gemessen als in den Räumen mit einer Geruchsintensität < 3 . Höhere P90 und/oder P95 Werte in Räumen mit einer Geruchsintensität < 3 wurden für 2-Propanol, Σ Isononane, Σ Alkane C4 bis C11, Ethylenglykolmonophenylether, Diethylenglykolmonoethylether, Siloxan D5, Propionsäure und n-Butansäure festgestellt. Der TVOC Wert lag in der Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 für den P90 bei $2480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und den P95 bei $3312 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und in der Gruppe Geruchsintensität < 3 waren die TVOC-Werte überwiegend niedriger. Der P90 wurde mit $1023 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet und der P95 mit $1155 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Obwohl bei höherer Geruchsintensität in der Regel auch höhere Geruchsstoffkonzentrationen in der Raumluf zu erwarten sind, ergaben die Auswertungen für ausgewählte Geruchsstoffe keine Korrelation zwischen der Raumlufkonzentration und der Geruchsintensität. In Räumen mit sehr hohen Naphthalinkonzentrationen ($15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lag die Geruchsintensität bei 3,0 bis 4,0. In Räumen mit Naphthalinkonzentrationen zwischen n.n. und $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen Geruchsintensitätsbewertungen zwischen 0,5 und 5,0. Selbst im Fall einer Naphthalinkonzentration von $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde die Intensität mit 1,0 bewertet. Da es sich bei den ausgewerteten Fällen nicht nur um „Naphthalinfälle“ handelt, ist davon auszugehen, dass bei hoher Geruchsintensität und niedriger Naphthalinkonzentration die Geruchsbildung durch andere Stoffe verursacht wurde. Um den zu erwartenden Zusammenhang zwischen der Naphthalinkonzentration und der Geruchsintensität darzustellen, können Ergebnisse sensorischer und analytischer Prüfungen aus Gebäuden mit vergleichbarer Quellsituation herangezogen werden. Für die Bewertung der Hedonik ist ebenfalls kein Zusammenhang mit der Naphthalinkonzentration erkennbar. Auch bei den übrigen ausgewerteten Verbindungen, hier exemplarisch dargestellt für Hexanal, 2-Ethylhexanol und Σ Isododecene, liegt kein Zusammenhang vor. Bei Isododecenen wurden bei hohen Summenwerten vergleichsweise niedrige Geruchsintensitäten genannt. Dagegen zeigt sich beim TVOC, dass hohe VOC-Summenbelastungen auch zu einer höheren Geruchsintensität führen.

Bei den Auswertungen der VOC DB 2 konnte festgestellt werden, dass das Vorkommen von VOC je nach Raumnutzungstyp variiert. Die Gruppierung der VOC DB 3 nach Raumnutzungsarten ergab höhere Konzentrationen in Klassenräumen für Phenol, Σ Isononane, Benzylalkohol, Cyclohexanon, 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on, Benzothiazol und 2-Butanonoxim sowie die Mehrzahl der Glykolderivate. Wohnräume wiesen deutlich höhere Perzentile für Terpene, Essigsäure sowie einige Aromaten und einige Alkohole auf. In den Büroräumen wurden höhere Konzentrationen für Isododecene, Naphthalin und Methylnaphthaline, Aldehyde, Methylalketon, Acetophenon Propionsäure, n-Butansäure und Caprolactam gemessen. Für Formaldehyd erreichte das 90. Perzentil in der Gruppe Klassenräume den höchsten Wert und das 95. Perzentil war in der Gruppe Wohnräume am höchsten. Die Auswertung der TVOC Werte ergab für Klassenräume bei geringerer Fallzahl die höchsten Perzentile.

In der Regel werden in belüfteten Räumen niedrigere VOC-Konzentrationen als in ungelüfteten Räumen gemessen. Bei den hier durchgeführten Auswertungen ist zu berücksichtigen, dass Messungen in gelüfteten Räumen überwiegend bei erhöhter Belastung zur Überprüfung der Einhaltung von Innenraumrichtwerten durchgeführt wurden. Für einige Stoffe wurden daher in der Gruppe gelüftet teilweise höhere Perzentile ermittelt. Hierzu gehören u.a. m,p-Xylol, 1,2,4-Trimethylbenzol, Naphthalin, Methylnaphthaline, Diethylenglykolmonoethylether, Diethylenglykolmonobutylether, Caprolactam, Benzothiazol und 2-Butanonoxim. Das 90. Perzentil für den TVOC lag in der Gruppe gelüftet bei $962 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und das 95. Perzentil bei $1184 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In der Gruppe ungelüftet wurden für den TVOC mit einem 90. Perzentil von $2020 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einem 95. Perzentil von $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich höhere Summenwerte ermittelt.

Auch der Zusammenhang zwischen der Luftwechselrate und der Raumlufkonzentration war weniger deutlich ausgeprägt für die Daten der VOC DB 3 im Vergleich mit den Auswertungen für die VOC DB 2. Bei Luftwechselraten zwischen 0 und 0,5/h wurden niedrige und hohe Raumlufkonzentrationen gemessen. Eine Korrelation zwischen der LWR und Konzentration ist nicht erkennbar. Die Messungen in Räumen mit einer LWR >0,9 /h ergaben überwiegend niedrige Konzentrationen.

Ein Vergleich der VOC-Daten aus geruchsauffälligen, überwiegend für mindestens 8 Stunden nicht gelüfteten, Räumen mit den Innenraumrichtwerten des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) ergab die höchste Anzahl an Richtwert I (RW I)- und Richtwert II (RW II)-Überschreitungen für die Σ Naphthalin und naphthalinähnliche Verbindungen. In 30,5 % der Fälle wurde der RW I überschritten und in 11,6 % der Fälle der RW II. RWII-Überschreitungen wurden in geruchsauffälligen Räumen auch für Styrol, Benzaldehyd, Essigsäure und 2-Butanonoxim vorgefunden. Insgesamt war die Anzahl an Richtwertüberschreitungen für die VOC DB 3 gegenüber der VOC DB 2 geringer.

Um Quellen und Ursachen für Gerüche systematisch darzustellen, wurde auf der Grundlage der Vorerhebung (siehe Kapitel 4.1) eine Gliederung für typische Geruchsbeschwerdesituationen in Innenräumen entwickelt. Für die Auswertung der dargestellten Geruchsfälle wurden Fragebögen und Gutachten herangezogen. Die für die Aufklärung von Geruchsbelästigungen eingesetzten Verfahren werden beschrieben. Neben chemisch-analytischen und sensorischen Untersuchungsverfahren werden auch Verfahren zur Bestimmung der Luftwechselrate und Unterdruckhaltung aufgeführt.

Die in Innenräumen auftretenden typischen Geruchsbeschwerdesituationen werden in die folgenden fünf Fallgruppen eingeteilt:

- ▶ Unzureichender Luftaustausch
- ▶ Bauteiloberflächen
- ▶ Bauteile
- ▶ Innenliegende Quelle
- ▶ Außerhalb des Raumes liegende Quellen

In der Fallgruppe 1 - Unzureichender Luftaustausch werden drei Geruchsbeschwerdesituationen in Büroräumen mit sehr niedrigen Luftwechselraten vorgestellt. In diesen Fällen war die Ursache für die Geruchsbelästigung der unzureichende Luftaustausch. Die ermittelten Luftwechselraten lagen im ersten Fall mehrheitlich zwischen ca. 0,10 /h und 0,15 /h, im zweiten Fall zwischen 0,05 /h und 0,06 /h und im dritten Fall bei 0,04 /h. Es konnten keine systematischen Zusammenhänge zwischen der festgestellten Geruchsbelästigung und den Ergebnissen der chemischen Raumlufuntersuchungen ermittelt werden.

Die Fallgruppe 2 – Bauteiloberflächen wird in die nachfolgenden Untergruppen untergliedert:

- ▶ Bodenbeläge
- ▶ Türen
- ▶ Wände/Decken
- ▶ Akustikdecken

Für die Untergruppe Bodenbeläge werden Geruchsbeschwerdesituationen im Zusammenhang mit Teppichböden, Linoleum, Kautschuk, PVC, Parkett sowie Materialkombinationen vorgestellt.

Die möglichen Ursachen für die Entstehung von Gerüchen im Bereich des Bodenaufbaus sind vielfältig. Es werden Beschwerdesituationen im Zusammenhang mit Abbaureaktionen (z. B. durch Hydrolyse, Oxidation oder Produktalterung), Anwendungsfehler, Produktemissionen, Verunreinigungen der Inhaltsstoffe, falsche Reinigung, nicht verträgliche Materialkombinationen (Altbelag, neuer Bodenbelagskleber und/oder neuer Bodenbelag), feuchteinduzierte Reaktionen im Bodenbelag und/oder Bodenbelagskleber beschrieben. Bei den im Zusammenhang mit Teppichböden auftretenden Geruchsbeschwerden können typische, abklingende Neugerüche von langanhaltenden Gerüchen, die erst nach Wochen oder Monaten auftreten unterschieden werden.

Für die Untergruppe Türen /Fenster wird eine Geruchsbeschwerdesituation nach der Aufbringung einer neuen Lackschicht auf einem alten Lackuntergrund aufgeführt.

Unangenehme Gerüche können auch im Zusammenhang mit der Anwendung von Dispersionswandfarben auftreten. Auch hier können mehrere Faktoren für die Ausprägung von Gerüchen differenziert werden. Der Geruch kann unmittelbar im Zusammenhang mit der Anwendung des Produktes auftreten oder zeitlich verzögert in Abhängigkeit der klimatischen und/oder nutzungsbezogenen Bedingungen. Die Geruchsbildung kann durch Wechselwirkungen mit dem Untergrund und der Umgebung verursacht werden. Auch hier können Reaktionspartner wie Sauerstoff, Licht oder Ozon die Bildung geruchsaktiver Verbindungen verursachen. Vorgestellt wird ein Fall eines kräuterartigen Geruchs beim Öffnen der Fenster nach der Aufbringung einer neuen Wandfarbe.

Akustikdecken können durch Sekundärkontaminationen oder Produktemissionen für Störgerüche verantwortlich sein.

In der Fallgruppe 3 – Bauteile werden Geruchsbeschwerdesituationen im Zusammenhang mit kompletten Bauteilaufbauten betrachtet. Differenziert werden:

- ▶ Boden
- ▶ Decke/Wände
- ▶ Dach und Fassade

Für das Bauteil Boden werden Geruchsausbildungen im Zusammenhang mit Abdichtungen, Klebstoffen, Verunreinigungen durch das Verschütten lösungsmittelhaltiger Produkte und Emissionen aus Dämmstoffen beschrieben. Bei den nachgewiesenen Geruchsstoffen handelte es sich um:

- ▶ Kresole, Dimethylphenole und Ethylphenole, die bereits in sehr geringen Raumluftkonzentrationen unangenehme Gerüche verursachen,
- ▶ Alkybenzole, die aufgrund der Anwendung lösungsmittelhaltiger Produkte in sehr hohen, Konzentrationen vorlagen,
- ▶ Styrol durch die Anwendung eines Flüssigkunststoffs und Emissionen aus Polystyrolplatten.

Für die Untergruppe Decke/Wände werden zwei Fallbeispiele für Fertighausgerüche mit Geruchsbelästigungen durch Chloranisole und Chlornaphthaline aufgeführt. In einem weiteren Fall eines neu erstellten Einfamilienhauses in Holzständerbauweise werden störende Gerüche ausgehend von Holzwerkstoffen durch die Freisetzung von Terpenen und Aldehyden genannt. In

einem anderen Fall mit Geruchsbeschwerden und Befindlichkeitsstörungen in einer neu errichteten Kindertagesstätte werden hohe Belastungen durch Aldehyde, bicyklische Terpene, n-Butylacetat, Essigsäure und Alkylbenzole für die Geruchsbildung verantwortlich gemacht. Als wesentliche Emissionsquelle konnte der Wandaufbau identifiziert werden. Bei einem alten Holzständerbau mit muffig-schimmelartigen Gerüchen wurden Emissionen von Chloranisolen und Chlornaphthalinen aus dem Wandaufbau festgestellt.

In Containeranlagen werden Geruchsbeschwerdesituationen und auch Reizerscheinungen in Zusammenhang mit PVC-Bodenbelägen und dem Nachweis von höheren Alkoholen bzw. 2-Ethylhexanol und Benzaldehyd sowie in einem weiteren Fall Belastungen durch verschiedene VOC Stoffgruppen in Kombination mit Feuchteschäden berichtet.

Für die Untergruppe Dach/Fassade werden sieben Fallbeispiele aufgeführt.

Unangenehme Gerüche traten beispielsweise nach Fassadenreinigungsarbeiten (Abbeizen von Graffiti) auf. Im Innenraum wurden Lösungsmittel (1,2-Propylenglykolmonomethylether und Butylacetat) sowie Dimethylsulfid (Zersetzungsprodukt) nachgewiesen.

Fischartige Gerüche in der Fischabteilung eines Supermarktes konnten der feuchten Mineralwolle im Dachaufbau des Flachdachs zugeordnet werden. Im feuchten Milieu können die in der Mineralwolle als Bindemittel eingesetzten harnstoffhaltigen Phenol- und/oder Melamin-Harze zersetzt werden. Als Markersubstanz für den fischartigen Geruch konnte Dimethylformamid identifiziert werden. Fischartige Gerüche in einem Büro konnten ebenfalls auf die Durchfeuchtung von Mineralwolle zurückgeführt werden. Wobei auch in diesem Fall für das Eindringen der Geruchsstoffe (u.a. auch Ammoniak) auf eine Unterdrucksituation in den betroffenen Räumen zurückzuführen war.

Lösungsmittellemissionen aus einer Flachdachabdichtung führten zu einer Geruchsbelastung in einem Schlafzimmer.

Bei einer Geruchsbelästigung durch den Isolierglasklebstoff eines Fensters wurden die Störgerüche einem Schwefelsäureester und 1,4,5-Oxadithipan zugeordnet.

Im Fall einer Geruchsbelästigung in einem Wintergarten wurde eine Glasauflagedichtung als Quelle des Störgeruchs identifiziert. Auch die in einer Wohnung nach dem Austausch der Fenster auftretenden unangenehmen Gerüche konnten auf die Dichtungsmaterialien des Fensters zurückgeführt werden.

Geruchsbildungen in Zusammenhang mit Feuchteschäden und mikrobiellen Belastungen sind auf die Entstehung geruchsaktiver Zersetzungsprodukte und von Schimmelpilzen und Bakterien abgegebene Stoffwechselprodukte, z.B. Geosmin, 1-Octen-3-ol und sonstige MVOC (Microbially Volatile Organic Compounds), wie Dimethylsulfid oder durch bakteriell bedingte geruchsaktive Zersetzungsprodukte von Holzschutzmitteln, wie z.B. Chloranisole zurückzuführen.

Für die Fallgruppe 4 – Innenliegende Quellen werden vier Untergruppen differenziert:

- ▶ Möbel
- ▶ Produktanwendungen
- ▶ Nutzung und ehemalige Nutzung
- ▶ Tote Tiere

Geruchsbeschwerdesituationen im Zusammenhang mit Möbeln waren in den zwei aufgeführten Fallbeispielen auf die Emissionen der Möbel zurückzuführen. Nach der Anwendung eines

Heizungslacks kam es in einem Fall zur Freisetzung von höheren Aldehyden, die für den unangenehmen Geruch verantwortlich gemacht wurden. Aus der Vornutzung von Räumen können Kontaminationen durch geruchsaktive Stoffe resultieren. Beschrieben werden Störgerüche durch Maschinenöl, Laborchemikalien, Urin, Tabakrauchgeruch und Tierhaltung. Störgerüche können auch von eingestiegenen und / oder verendeten Wildtieren in Bauteilhohlräumen ausgehen.

In der Fallgruppe 5 - Außerhalb des Raumes liegende Quellen werden folgende Untergruppen beschrieben:

- ▶ Hausinstallation
- ▶ Ölheizung
- ▶ Nutzung benachbarter Räume/Gebäude
- ▶ Kaminöfen in der Nachbarschaft
- ▶ Tabakrauch aus benachbarten Wohnungen

Für die Untergruppe Hausinstallation werden vier Fallbeispiele zu Abwassergerüchen, Fettabscheidegerüchen, Schwimmbadgerüchen und einer Geruchsbelästigung durch eine Dunstabzugshaube vorgestellt. Während in den ersten drei Fällen die Geruchsbeschwerdesituation durch das Eindringen kontaminierter Luft in die betroffenen Räume (über kontaminierte Zuluft, Leckagen, Unterdruck) verursacht wurde, war im Fall der Dunstabzugshaube die Ozonfreisetzung und der ozon-induzierte Abbau von VOC die Ursache der Geruchsbelästigung.

Ältere Heizöltanks aus Kunststoff können aufgrund der Diffusion von flüchtigen und geruchsintensiven Heizölbestandteilen je nach Belüftung des Heizungskellers und Leckagen zu Heizölgerüchen in Aufenthaltsräumen führen. Auch Holzpellets können erhebliche Geruchsemissionen aufweisen, die auf Aldehyde und organische Säuren zurückzuführen sind. Auch hier können je nach Belüftung des Lagerraumes und Leckagen Gerüche in Aufenthaltsräume eindringen.

Auch für den Eintrag von Störgerüchen aus benachbarten Räumen, in denen geruchsaktive flüchtige organische Verbindungen nutzungsbedingt freigesetzt werden, sind in der Regel Leckagen und Luftströmungsbedingungen bzw. Luftdruckunterschiede verantwortlich. Es werden verschiedene Fälle vorgestellt, in denen Gerüche aus Gewerberäumen in Wohnräume eingetragen werden. Auch Geruchsbelästigungen durch Kaminöfen in der Nachbarschaft stellen zunehmend ein Problem dar, dass sich nicht nur auf den Innenraum beschränkt. Die Übertragung von Tabakrauchemissionen kann ebenfalls sowohl innerhalb von Gebäuden bei Leckagen oder über die Außenluft erfolgen.

Summary

The causes of indoor odors are manifold. The perception of untypical odors or odors that are perceived as unpleasant is often associated with concerns about a health-relevant exposure. VOC measurements in connection with odor complaints pursue, on the one hand, the goal of illuminating the cause of the odor at the substance level. On the other hand, ideally the substances responsible for the odor formation can be identified, allowing conclusions to be drawn about the source. In addition, a health-related evaluation of the volatile organic compounds detected in the indoor environment can be carried out.

In this context, VOC measurements in connection with odor complaints represent one methodological building block among others for the identification and evaluation of odorous substances in indoor spaces, which must be viewed in the overall context of the methods available as a whole. Since odorous substances cannot necessarily be determined using the usual standard VOC methods, the methodological limits must be considered and communicated in advance. Depending on the issue and situation, other methods (e.g., sensory methods or analysis via material sampling) may be more target-oriented when it comes to localizing odor sources in order to be able to eliminate them.

The present report deals with the question to what extent the occurrence of VOCs differs in odor-susceptible and non-odor-susceptible rooms and which sources of odors occur in indoor rooms and with which material conspicuities they are associated. The project therefore approaches the identification of odorants from two directions: on the one hand, statistically based on VOC databases, and on the other hand, individually based on case studies.

In a work package 1, data collected within the projects "Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft", funding code (UFOPLAN) 205 61 234 (short: VOC DB 1), and "Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)", funding code (UFOPLAN) 3709 62 211 (short: VOC DB 2), with 7436 data records from the years 2002 to 2012 is evaluated with regard to odor-related data for the occurrence of VOCs in indoor air.

In order to be able to stratify data records in which odors were present as a cause of complaint, the characteristics cause and room situation are combined. The following criteria are used to classify the "odor-yes" and "odor-no" groups:

Odor yes: occasion: odor complaint; room situation: odor yes,

Odor no: occasion: all occasions except odor complaint and acceptance measurement; room situation: odor no.

Multiple responses were possible when specifying the occasion. The combination "health complaints" and "annoyance due to odors" occurs most frequently. Odors are mentioned as the second most frequent cause with 2615 mentions (1st and 2nd cause). The occasion acceptance measurement is taken out of the subgroup odor no, because the previous evaluations show that in new or freshly renovated buildings often higher VOC concentrations are measured. For the groups formed in this way, "Total data (incl. acceptance measurements)", "Odor yes" and "Odor no (without acceptance measurements)", statistical characteristics are created in order to compare the occurrence of VOCs in rooms with no odor and rooms with odor among each other as well as against the total group.

In the first project, the presence of an odor was documented in 872 cases during sampling. In 429 of these cases, a description of the odor was provided. In 308 cases, no odor was reported.

In the second project, odor yes was indicated in 1403 cases and odor no was indicated in 1103 cases. In 662 odor yes cases, intensity was rated by one individual during sampling. A scale from 0 to 5 was used: no odor (0) / very weak (1) / weak (2) / medium (3) / strong (4) / to very strong (5). On average, the odor intensity is 2.37.

A total of nearly 500 substances were evaluated. All substances without a minimum number of measured values are listed. Since not all substances are measured regularly and by all institutes, the sample size varies from 1 to 6048 in the total group, from 1 to 562 in the odor yes group and from 1 to 633 in the odor no group. The maximum sample size is reached in each case for n-hexanal.

The evaluations show higher concentrations in the total group for most of the investigated compounds. For some of the investigated compounds (with at least 25 measurement results), results above the limit of quantification and higher concentrations were determined more frequently in rooms with odors. These include cyclopentane and 1-heptene; the aromatics: m-/p-cresol, naphthalene, 1-methylnaphthalene, 2-methylnaphthalene; the terpenes, Δ -3-carene and -terpineol; in the case of ketones, acetophenone; in the case of esters, the plasticizer texanol; the aldehydes acetaldehyde, propanal, pentanal, hexanal and furfural; the alkanolic acids acetic acid, n-butanoic acid, iso-butanoic acid, pentanoic acid and n-hexanoic acid; and the sulfur compounds dimethyl sulfide, 2-methyl-4-isothiazolin-3-one, benzothiazole.

These are both typical indoor odorants and compounds that are not expected to make a relevant contribution to indoor odor in the concentrations in which they usually occur indoors. In contrast, compounds that are relevant as indoor odorants, such as n-butyl acetate, were unremarkable in the odor group, possibly due, in the case of n-butyl acetate, to the fact that the solvent may also be present in higher concentrations during acceptance measurements. For compounds that are more commonly measured at higher concentrations in new buildings, the concentrations in the odor group tended to be lower. These include, for example, the ketones 2-butanone (MEK) and MIBK; the esters ethyl acetate and butyl acetate; the glycol derivatives propylene glycol monomethyl ether acetate and ethylene glycol monobutyl ether; and 2-butanone oxime. These differences are also reflected in the TVOC sum values.

The highest percentiles were found in the acceptance measurements group (VOC measurements conducted no later than 4 weeks after completion of construction or renovation work). The lowest percentiles are in the odor-no group. The 50th, 90th and 95th percentiles in the odor-yes group are slightly below the percentiles of the total group.

Basically, it must be considered that this is a statistical evaluation and not a systematic investigation of possible odorants. This means that statistically conspicuous substances can also be found in the odor group that do not themselves make a relevant contribution to room odor. In contrast, the volatile organic compounds responsible for the odor can also lie outside the analytically measurable spectrum and are not detected with this approach.

Comparing the statistical characteristics of the subgroups odor-yes and odor-no as well as the overall group with the preliminary odor guide values for 31 volatile organic compounds published in 2013 by the Ad Hoc Working Group on Indoor Guideline Values of the Commission on Indoor Air Hygiene and the Supreme State Health Authorities (now: German Committee on Indoor Air Guide Values (AIR)) (Umweltbundesamt 2014), the most frequent exceedances of the preliminary odor guide values in measurements in rooms predominantly unventilated for at least 8 hours are present in all three groups for aldehydes. The preliminary odor guide value II (vGLW II) was exceeded in the odor-yes group for hexanal in 11.2% of the cases. In the total group, the proportion was 8.3 % and in the odor-no group 4.1 %. In contrast, the preliminary odor guide value I (vGLW I) was exceeded most frequently, in 62.5 % of the measurements, in

the total group. In the odor-yes group, the proportion was similarly high, at 61.4 %, and in the odor-no group still at 48 %.

For ethanal, the vGLW II was exceeded less frequently. In the odor-yes group, the proportion was 2.0 %, in the total group 1.9 % of the cases and in the odor-no group the vGLW II was not exceeded in any case. In the odor-yes group, the proportion above vGLW I was 59.6 %, in the total group 51.5 % of the measurements and in the odor-no group 40.1 %.

For the remaining compounds, vGLW II was rarely exceeded.

The largest differences in the percentage exceedances of the odor guide values between the total group and the odor-yes group are present for m-/p-cresol. The vGLW II is exceeded in the odor-yes group in 6.5 % and the vGLW I in 26.1 % of the cases. In the total group, the vGLW II is exceeded in only 1.2 % of the measured values and the vGLW I in 5.2 %.

For n-butyl acetate the vGLW I and II are exceeded more frequently in the total group. For benzothiazole, vGLW I exceedances are more frequent in the odor group; in contrast, vGLW II exceedances occur only in the total group.

Overall, the differences in the percentage exceedances between the total group and the odor-yes group - except for m-/p-cresol - are less pronounced than expected.

For the new inclusion of 100 data sets from odor-susceptible rooms, a survey was first conducted among AGÖF members about the interest in participating and the type and scope of odor cases. Based on the feedback, an outline of the sources and causes of odors causing complaints in indoor spaces was made. This outline was used to create the odor complaint case system described in Chapter 7. Of the 289 case histories reported back, odor complaints related to an odor source within the floor occurred in 104 cases. In 43 cases, the cause of the odor was unknown. The registrations were used to determine how many data sets could be provided by the institutes. A total of 14 institutes were involved in providing data. The number of data sets supplied varied between four and 74 data sets. The import tool already developed in the context of the two projects VOC DB 1 and 2 was used to record the data. The data could be entered completely or partially by the institutes into the import tool. It was also possible to provide appropriate documentation to have the data entered by the project management. A total of 328 data sets were entered into the database, in 61 cases including a determination of the air exchange rate.

The sampling locations are distributed very differently over the ten postal code areas from 0 to 9 according to the locations of the participating institutes. It was possible to provide data sets up from the sampling date 2012. The majority of sampling (81.4%) occurred between 2015 and 2018, with the majority occurring in 2017 (36.3%). July and August had the highest number of monthly sampling events, and December had the lowest. Measurements were generally conducted as status measurements in rooms unventilated for at least 8 hours. The cause of odor was indicated in a total of 283 cases, of which 167 cases were mentioned as the sole cause and the remaining cases were cited in combination with health complaints and/or suspected exposure. In the remaining 45 cases, health complaints (3 cases), suspected exposure (14 cases) and acceptance measurement (28 cases) were indicated as causes. The construction method was dominated by solid masonry buildings. The evaluation of the years of construction revealed a comparatively high proportion of new buildings (from 2017) and old buildings (before 1918). The measurements were made in 55.2 % of the cases in commercially used buildings. In 50.8% of the cases, the buildings were office buildings. The proportion of residential buildings was even lower, 18.3%, than the proportion of educational facilities, 26.5%. Ventilation of the investigated rooms was done manually by window ventilation in 79.6%. In terms of room

furnishings, bonded carpeting (33.8%), plastered walls (51.5%), and plastered ceilings (42.4%) dominated. In 200 cases, information on renovation was provided. In 67 cases, the users did not know whether renovation had taken place in the last 5 years. Most frequently, with 80 mentions, the renovation of the floor was mentioned. Combinations of renovation measures were more frequent than single measures. Few statements were made about the time of renovation. Ratings between 1 and 5 were given for odor intensity (scale of 0 to 5). Odor intensity 3 (medium odor) was cited most frequently. On average, odor intensity was 2.82. Hedonic tone (scale -4 to +4) averaged -1.33 and acceptance (scale -1 to +1) -0.33. While the correlation of odor intensity with hedonic tone and acceptance was low, meaning that even at low odor intensity an odor was rated as unpleasant and unacceptable, the parameters hedonic tone and acceptance correlated more clearly, meaning that an unpleasant odor was usually also rated as unacceptable. The temperature during sampling averaged 22.63 °C. The relative humidity reached an average of 47.26%. Compared to the sampling conditions of VOC DB 2, it was slightly warmer and the relative indoor humidity was slightly lower in the studied rooms. The average air exchange rate in rooms with window ventilation was determined to be 0.17 /h (n=57), which was slightly higher than for rooms with window ventilation in VOC DB 2 (LWR 0.13 /h; n= 48). In eleven rooms with ventilation systems, the mean air exchange rate was 0.51 /h. By comparison, a value of 0.63 (n = 52) was determined for the mean air exchange rate in rooms with ventilation systems in VOC DB 3.

Comparing the statistical parameters of the VOC DB 3 with the results of the evaluations for the odor-yes and odor-no groups of the VOC DB 1 and 2, some clear differences become apparent. In DB 3, significantly higher concentrations were determined for the aromatics 2-ethyltoluene, 1,2,4-trimethylbenzene, naphthalene, 1-methylnaphthalene, 2-methylnaphthalene and indane compared to the old data. While the use of solvent-based products can be suspected for odor complaint cases related to indoor air pollution by alkylbenzenes, high concentrations of naphthalene, 1-methylnaphthalene, 2-methylnaphthalene, and indane indicate the presence of tar products. Odor cases with high loads of m/p-cresol, on the other hand, are represented to a much lesser extent in VOC DB 3 than within the odor group of DB 1 and 2. The percentiles for toluene resulted in higher values in the odor group than in the group without odor in the legacy data. In the VOC DB 3 odor group, the 90th and 95th percentiles for toluene are lower than those in the no odor group of the legacy data. Also, like the odor cases of DB 1 and 2, the odor cases of DB 3 show higher percentiles for cyclopentane compared to the cases without odor of DB 1 and 2, although in the concentration ranges measured here, it cannot be assumed that this compound is involved in odor formation. Statistically conspicuous concentrations for cyclopentane occur, for example, in connection with increased emissions of pentane isomers from polystyrene products. Comparatively high concentrations were measured in the odor group of DB 3 for formaldehyde. The 95th percentile was determined to be 167.2 µg/m³. For acetaldehyde, n-hexanal, and benzaldehyde, the concentrations within the odor group of the legacy data were higher than in DB 3. For furfural, the 90th and 95th percentiles were similar. While 1-heptene was measured at higher concentrations in the odor group of the legacy data than in the odor-no group, the 90th and 95th percentiles in the odor group of DB 3 were below the limit of quantitation. High concentrations were determined in the odor group of DB 3 for the substance mixture dodecenisomers, which was newly added to the database. Odor complaints in connection with exposure to isododecenes indicate odor emissions from styrene-butadiene latex usually from carpeting (see also Chapter 7.4.1). The 90th and 95th percentiles for the compounds identified as odorants in textile floor coverings, 4-vinylcyclohexene and 4-phenylcyclohexene, were below the limit of quantification in both odor groups. For alcohols, the differences between the groups are relatively small. The high percentiles for the substance mixture isononanols, which was newly included in the database, are striking. It can be assumed

that the odor complaints related to isononanol are predominantly due to the hydrolysis of the plasticizer diisononyl phthalate from PVC. The concentrations of the terpenes α -pinene and Δ -3-carene were unremarkable in the odor group of DB 3. Cyclohexanone was measured in higher concentrations in the DB 3 odor group, while acetophenone was present in higher concentrations in the legacy data odor group. While n-butyl acetate and texanol were present at higher concentrations in the odor group of the legacy data, DB 3 yielded higher concentrations for methyl methacrylate (MMA). n-Butyl acetate and texanol are used as solvents and solubilizers/plasticizers, respectively, in paints. MMA is a plastic monomer that can cause odor problems in the manufacture of floor coatings. Although glycol compounds and siloxanes are not odor-forming compounds indoors, higher percentile values were determined for ethylene glycol monobutyl ether, 1,2-propylene glycol monomethyl ether and hexamethylcyclotrisiloxane (D3) in the odor group of DB 3 than in the odor group of DB 1 and 2 or the group without odor. While acetic acid was above the concentrations of VOC DB 3 and group without odor for the legacy data in the odor group, higher percentiles were determined for propionic acid and n-butanoic acid for the VOC DB 3 odor group.

In contrast, odor complaints in connection with benzothiazole, which are generally attributable to corresponding emissions from new rubber floor coverings, were less frequent in VOC DB 3. For the sulfur compounds dimethyl sulfide and dimethyl sulfoxide, very high concentrations were determined in DB 3, which occurred in connection with solvents for removing graffiti, among other things. For TVOC, significantly higher percentiles (P90: 2204 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, P95: 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) were determined for the odor group of DB 3 compared to the legacy data (odor-yes -group P90: 1460 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, P95: 2060 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; odor-no -group P90: 957 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, P95: 1630 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The 90th and 95th percentiles for the odor group of VOC DB 3 are at the level of the corresponding percentiles of the group acceptance measurement from the old data and thus also significantly above the percentile values of the total group VOC DB 1 and 2.

In order to consider differences in VOC concentrations as a function of possible influencing factors, the following subgroups were differentiated for the statistical evaluation:

- ▶ Odor intensity: ≥ 3 and < 3 ,
- ▶ Room use type: office, classroom, and residential room,
- ▶ ventilation condition: ventilated and unventilated.

In VOC measurements where the odor intensity was ≥ 3 , higher indoor air concentrations were predominantly measured than in the rooms with odor intensity < 3 . Higher P90 and/or P95 values in rooms with odor intensity < 3 were found for 2-propanol, Σ isononanol, Σ alkanals C4 to C11, ethylene glycol monophenyl ether, diethylene glycol monoethyl ether, siloxane D5, propionic acid and n-butanoic acid. The TVOC value was 2480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for the P90 and 3312 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for the P95 in the odor intensity ≥ 3 group, and TVOC values were predominantly lower in the odor intensity < 3 group. The P90 was calculated at 1023 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and the P95 at 1155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Although higher odor intensity is generally also expected to result in higher odorant concentrations in the room air, the evaluations for selected odorants did not reveal any correlation between room air concentration and odor intensity. In rooms with very high naphthalene concentrations (15.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), odor intensity ratings ranged from 3.0 to 4.0. In rooms with naphthalene concentrations between undetectable and 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, odor intensity ratings ranged from 0.5 to 5.0. Even in the case of a naphthalene concentration of 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, intensity was rated at 1.0. Since the evaluated cases were not only "naphthalene cases", it can be assumed that in the case of high odor intensity and low naphthalene concentration, the

odor formation was caused by other substances. To demonstrate the expected relationship between naphthalene concentration and odor intensity, results of sensory and analytical tests from buildings with comparable source situations can be used. For the evaluation of hedonics, no correlation with the naphthalene concentration is discernible either. There is also no correlation for the other evaluated compounds, shown here as examples for hexanal, 2-ethylhexanol and Σ isododecenes. In the case of isododecenes, comparatively low odor intensities were mentioned for high sum values. In contrast, TVOC shows that high VOC sum loads also lead to higher odor intensity.

In the evaluations of VOC DB 2, it was found that the occurrence of VOC varies depending on the type of room use. Grouping VOC DB 3 by room use type revealed higher concentrations in classrooms for phenol, Σ isononanol, benzyl alcohol, cyclohexanone, 2-methyl-4-isothiazolin-3-one, benzothiazole, and 2-butanone oxime, as well as the majority of glycol derivatives. Residential rooms had significantly higher percentiles for terpenes, acetic acid, some aromatics and some alcohols. Office rooms had higher concentrations for isododecenes, naphthalene and methylnaphthalenes, aldehydes, methyl ethyl ketone, acetophenone propionic acid, n-butanoic acid, and caprolactam. For formaldehyde, the 90th percentile reached the highest value in the classrooms group and P 95th percentile was highest in the residential group. The evaluation of TVOC values showed the highest percentiles for classrooms with a lower number of cases.

As a rule, lower VOC concentrations are measured in ventilated rooms than in unventilated rooms. In the evaluations carried out here, it must be considered that measurements in ventilated rooms were predominantly carried out at elevated exposure levels to check compliance with indoor guideline values. For some substances, therefore, higher percentiles were determined in the ventilated rooms group. These include m,p-xylene, 1,2,4-trimethylbenzene, naphthalene, methylnaphthalenes, diethylene glycol monoethyl ether, diethylene glycol monobutyl ether, caprolactam, benzothiazole, and 2-butanone oxime. The 90th percentile for TVOC in the ventilated rooms group was $962 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the 95th percentile was $1184 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In the unventilated rooms group, significantly higher cumulative values were determined for TVOC, with a 90th percentile of $2020 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and a 95th percentile of $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

The correlation between air exchange rate and indoor air concentration was also less pronounced for the VOC DB 3 data compared to the evaluations for VOC DB 2. Low and high indoor air concentrations were measured at air exchange rates (AER) between 0 and 0.5/hr. A correlation between the AER and concentration is not apparent. The measurements in rooms with an AER >0.9 /h showed predominantly low concentrations.

A comparison of the VOC data from odor-susceptible rooms, predominantly not ventilated for at least 8 h, with the indoor guideline values of the Committee for Indoor Guideline Values (AIR) revealed the highest number of guideline value I (RW I) - and guideline value II (RW II) - exceedances for the Σ naphthalene and naphthalene-like compounds. RW I was exceeded in 30.5% of the cases and RW II - exceedances were determined in 11.6% of the cases. RW II exceedances were also found for styrene, benzaldehyde, acetic acid and 2-butanone oxime in odor-susceptible rooms. Overall, the number of guideline value exceedances for VOC DB 3 was lower than for VOC DB 2.

In order to systematically present sources and causes of odors, a classification for typical odor complaint situations in indoor spaces was developed on the basis of the preliminary survey (see Chapter 4.1). Questionnaires and expert reports were used to evaluate the odor cases presented. The methods used for the clarification of odor complaints are described. In addition to chemical-

analytical and sensory examination methods, methods for determining the air exchange rate and negative pressure maintenance are also listed.

The typical odor complaint situations occurring indoors are classified into the following five case groups:

- ▶ Insufficient air exchange
- ▶ Building component surfaces
- ▶ Building components
- ▶ Interior source
- ▶ Sources located outside the room.

Case Group 1 - Insufficient Air Exchange presents three odor complaint situations in office spaces with very low air exchange rates. In these cases, the cause of the odor complaint was insufficient air exchange. The air exchange rates determined were mostly between approx. 0.10 /h and 0.15 /h in the first case, between 0.05 /h and 0.06 /h in the second case, and 0.04 /h in the third case. No systematic correlations between the odor nuisance detected and the results of the chemical indoor air tests could be determined.

Case group 2 - building component surfaces, is subdivided into the following subgroups:

- ▶ Floor coverings
- ▶ Doors
- ▶ Walls/ceilings
- ▶ Acoustic ceilings

For the floor coverings subgroup, odor complaint situations associated with carpeting, linoleum, rubber, PVC, parquet, and combinations of materials are presented.

The possible causes for the development of odors in the floor structure area are manifold. Complaint situations related to degradation reactions (e.g. due to hydrolysis, oxidation or product aging), application errors, product emissions, ingredient contamination, incorrect cleaning, incompatible material combinations (old floor covering, new floor covering adhesive and/or new floor covering), moisture-induced reactions in the floor covering and/or floor covering adhesive are described. In the case of odor complaints occurring in connection with carpeting, typical, fading new odors can be distinguished from long-lasting odors that only appear after weeks or months.

For the doors/windows subgroup, an odor complaint situation is listed following the application of a new coat of paint to an old paint substrate.

Unpleasant odors can also occur in connection with the application of dispersion wall paints. Here, several factors can be differentiated for the expression of odors. The odor may occur immediately in connection with the application of the product or with a time delay depending on the climatic and/or usage-related conditions. Odor formation can be caused by interactions with the substrate and the environment. Reactants such as oxygen, light or ozone can cause the formation of odor-active compounds. Presented is a case of an herbaceous odor when opening windows after applying a new wall paint.

Acoustical ceilings can be responsible for disturbing odors due to secondary contamination or product emissions.

In case group 3 - building components, odor complaint situations in connection with complete building component assemblies are considered. Differentiated are:

- ▶ Floor
- ▶ Ceiling/walls
- ▶ Roof and facade

For the building component floor, odor formations are described in connection with sealants, adhesives, contamination due to spillage of solvent-containing products, and emissions from insulation materials. The odorous substances detected were

- ▶ Cresols, dimethylphenols, and ethylphenols, which cause unpleasant odors even at very low indoor air concentrations,
- ▶ Alkylbenzenes, which were present in very high, concentrations due to the application of solvent-containing products,
- ▶ Styrene due to the application of a liquid plastic and emissions from polystyrene sheets.

For the ceiling/walls subgroup, two case studies are listed for prefabricated house odors with odor nuisance caused by chloroanisoles and chloronaphthalenes. In another case of a newly built single-family house in wood-frame construction, disturbing odors coming from wood materials due to the release of terpenes and aldehydes are mentioned. In another case of odor complaints and disturbances of well-being in a newly built daycare center, high levels of aldehydes, bicyclic terpenes, n-butyl acetate, acetic acid, and alkylbenzenes were held responsible for the odor formation. The wall construction was identified as the main source of emissions. Emissions of chloroanisoles and chloronaphthalenes from the wall construction were detected in an old wooden post-and-beam building with musty, moldy odors.

In container facilities, odor complaints and also irritation symptoms are reported in connection with PVC floor coverings and the detection of higher alcohols or 2-ethylhexanol and benzaldehyde, and in another case exposure to various VOC substance groups in combination with moisture damage.

Seven case studies are listed for the roof/facade subgroup.

Unpleasant odors occurred, for example, after facade cleaning work (removal of graffiti). Solvents (1,2-propylene glycol monomethyl ether and butyl acetate) and dimethyl sulfide (decomposition product) were detected in the interior.

Fishy odors in the fish department of a supermarket could be attributed to the damp mineral wool in the roof structure of the flat roof. In the moist environment, the urea-containing phenolic and/or melamine resins used as binders in the mineral wool can decompose. Dimethylformamide was identified as the marker substance for the fishy odor. Fishy odors in an office could also be attributed to the moisture penetration of mineral wool. In this case, the penetration of the odorous substances (including ammonia) was due to a negative pressure situation in the rooms concerned.

Solvent emissions from a flat roof sealing led to an odor nuisance in a bedroom.

In the case of an odor nuisance caused by the insulating glass adhesive of a window, the interfering odors were attributed to a sulfuric acid ester and 1,4,5-oxadithipane.

In the case of an odor nuisance in a winter garden, a glass support gasket was identified as the source of the interfering odor. Unpleasant odors occurring in one apartment after the windows had been replaced could also be traced back to the window's sealing materials.

Odor formation associated with moisture damage and microbial contamination is due to the formation of odor-active decomposition products and metabolites emitted by molds and bacteria, e.g., geosmin, 1-octen-3-ol, and other MVOCs (Microbially Volatile Organic Compounds), such as dimethyl sulfide, or by bacterially-induced odor-active decomposition products of wood preservatives, such as chloroanisoles.

Four subgroups are differentiated for Case Group 4 - Indoor Sources:

- ▶ Furniture
- ▶ Product applications
- ▶ Use and former use
- ▶ Dead animals

Odor complaints related to furniture were due to emissions from the furniture in the two case studies listed. After the application of a heater varnish, the release of higher aldehydes occurred in one case and was held responsible for the unpleasant odor. Contamination by odor-active substances can result from the previous use of rooms. Disturbing odors caused by machine oil, laboratory chemicals, urine, tobacco smoke odors, and animal husbandry are described. Nuisance odors may also emanate from nested and/or dead wildlife in building component voids.

Case Group 5 - Outside Sources describes the following subgroups:

- ▶ Domestic plumbing
- ▶ Oil heating
- ▶ Use of neighboring rooms/buildings
- ▶ Chimney stoves in the neighborhood
- ▶ Tobacco smoke from neighboring apartments

Four case studies on wastewater odors, grease trap odors, swimming pool odors and an odor nuisance caused by an extractor hood are presented for the domestic installation subgroup. While in the first three cases the odor nuisance was caused by contaminated air entering the affected rooms (via contaminated supply air, leaks, negative pressure), in the case of the fume hood, ozone release and ozone-induced degradation of VOCs were the cause of the odor nuisance.

Older plastic fuel oil tanks can cause fuel oil odors in occupied spaces due to diffusion of volatile and odorous fuel oil constituents, depending on the ventilation of the boiler room and leaks. Wood pellets can also have significant odor emissions due to aldehydes and organic acids. Again, depending on the ventilation of the storage room and leaks, odors can enter occupied rooms.

Leakage and air flow conditions or air pressure differences are also usually responsible for the entry of nuisance odors from adjacent rooms where odor-active volatile organic compounds are

released due to use. Various cases are presented in which odors from commercial spaces are introduced into residential spaces. Odor nuisance from neighborhood fireplaces is also increasingly a problem that is not limited to indoor environments. The transmission of tobacco smoke emissions can as well occur both inside buildings in the event of leakage or via the outside air.

1 Einleitung

Gerüche sind für das Wohlbefinden in Innenräumen von großer Bedeutung. Unangenehme Gerüche stellen Störfaktoren dar, die zu Ablenkung, Verunsicherung, Abwehr, Stress und auch gesundheitlichen Beschwerden führen können. Lässt sich die Ursache nicht mit einfachen Mitteln ermitteln und beseitigen, führt ein unangenehmer Geruch in einem Innenraum in der Regel anfangs zu einer Intensivierung der Belüftung, ggfs. zu einer Reduktion der Nutzung, schließlich zu Untersuchungen durch Sachverständige und – nicht selten – zu aufwändigen Sanierungsmaßnahmen.

Die Bewertung von Gerüchen kann individuell sehr unterschiedlich ausfallen, was es für Betroffene oftmals besonders schwierig macht. Einhergehend mit einer Geruchswahrnehmung geht oftmals die Sorge um eine mögliche Vergiftung. Grundlegend sollten die geruchliche und die stoffliche Ebene einer Geruchsbeschwerdesituation getrennt betrachtet und bewertet werden. Für die sensorische Bewertung von Gerüchen stehen inzwischen erprobte und valide Methoden zur Verfügung, die eine Objektivierung des Geruchs möglich machen. Und auch auf der chemisch-analytischen Seite stehen umfangreiche Methoden für die Bestimmung möglicher Innenraumschadstoffe zur Verfügung. Nicht zuletzt ist die gutachterliche Expertise entscheidend für eine sachgerechte Herangehensweise an die jeweilige Problemstellung.

Die Quellen und Ursachen für Gerüche in Innenräumen sind ausgesprochen vielfältig.

Innerhalb der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) stellt das Thema Gerüche in Innenräume seit vielen Jahren einen der inhaltlichen Schwerpunkte der AGÖF-Institute dar.

Bereits 2012 hat die AGÖF den AGÖF-Leitfaden "Gerüche in Innenräumen – Sensorische Bestimmung und Bewertung" veröffentlicht, der in Kooperation mit dem Arbeitskreis Innenraumluft des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW, Österreich) erarbeitet wurde. Der Leitfaden beinhaltet eine standardisierte Form der Untersuchung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen. Er behandelt die Durchführung von sensorischen Geruchsprüfungen durch zertifizierte Prüferinnen und Prüfer vor Ort und gibt Empfehlungen für die Erstellung einer Gesamtbeurteilung eines Geruchsereignisses. Zudem wurde ein AGÖF-Geruchstest zur Qualifizierung und Zertifizierung der Geruchsprüfer entwickelt.

Der vorliegende Bericht beschäftigt sich nun mit der Fragestellung, inwieweit anhand von VOC-Messdaten Rückschlüsse auf Geruchsquellen gezogen werden können.

Hierzu wurde in dem Arbeitspaket 1, die im Rahmen von zwei bereits durchgeführten Projekten (FKZ 205 61 234 und FKZ 3709 62 211) erstellte, umfangreiche Datenbank zum Vorkommen von VOC in Innenräumen in Bezug auf geruchsbezogene Angaben ausgewertet.

Im Arbeitspaket 2 wurden weitere Messdatensätze aus geruchsauffälligen Räumen in die Datenbank eingepflegt und statistisch ausgewertet.

Anschließend wurde im Arbeitspaket 3 das VOC Vorkommen in Räumen mit Geruchsauffälligkeit mit Räumen ohne Geruchsauffälligkeit verglichen.

Das Arbeitspaket 4 beinhaltet eine systematische Auswertung von Geruchsfällen zur Identifikation von Geruchsstoffen und "typischen" Quellen/Ursachen für Gerüche in Innenräumen. Da für das Aufspüren von Geruchsquellen neben einem detektivischen Spürsinn auch ein erweiterter Methodenumfang zum Einsatz kommen kann, werden in diesem Kapitel auch verschiedene Herangehensweisen für die Quellensuche vorgestellt.

2 Material und Methoden

2.1 Datenbank VOC DB 1 und 2

Für die Auswertung der „Altdaten“ aus vorhergehenden Projekten VOC DB 1 und 2 wurde die MS Access basierte Datenbank VOCDB 2.0 und das hierfür entwickelte Auswertetool verwendet. In dieser Datenbank wurden die Daten aus dem 2014 abgeschlossenen Vorhaben VOC DB 1: „Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft“ (Umweltbundesamt 2008) mit den Daten des 2007 abgeschlossenen Vorhabens VOC DB 2 „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“ (Hofmann et al. 2014) zusammengeführt. Eine ausführliche Beschreibung des Aufbaus der Datenbank findet sich in Hofmann et al. 2014.

2.2 Datenaufnahme VOC DB 3

2.2.1 Vorerhebung

Um im Vorfeld das Interesse der AGÖF-Institute an einer Beteiligung an dem Vorhaben in Erfahrung zu bringen und die Art und Anzahl von Geruchsfällen zu erfragen, wurde zunächst eine Vorerhebung mittels Fragebogen durchgeführt. Hierzu wurden die AGÖF-Mitglieder per Mail über das Projekt informiert und aufgefordert, Geruchsfälle anzumelden und mittels Fragebogen (siehe Anhang A) zu beschreiben.

Es wurden insgesamt 289 Fälle von 14 Instituten angemeldet. Auf der Grundlage der vorgelegten Fallbeschreibungen wurde festgelegt, wie viele Fälle pro Institut vergütet werden können. Die Auswahl zielte darauf ab, möglichst alle Institute an der Datenbereitstellung zu beteiligen und Datensätze, bei denen auch eine Bestimmung der Luftwechselrate durchgeführt wurde, bevorzugt aufzunehmen.

2.2.2 Import-Tool

Das bereits für die VOCDB 2.0 weiterentwickelte Import-Tool wurde für das Geruchsprojekt überarbeitet. In der Eingabemaske „Zusatzinformationen“ wurden weitere Geruchsparameter zur olfaktorischen Bewertung des untersuchten Raumes ergänzt. Neben einem Freitextfeld zur Beschreibung des Geruchs und der Bewertung der Geruchsintensität nach dem folgenden Schema: 0 (nicht wahrnehmbar), 1 (sehr schwach), 2 (schwach), 3 (mittel), 4 (stark), 5 (sehr stark) mit Zwischennoten in Abstufungen von 0,25 gemäß AGÖF-Geruchsleitfaden wurden die Parameter Hedonik und Akzeptanz ergänzt. Für die Angabe der Hedonik wurde die neunstufige Skala von -4 („äußerst unangenehm“) bis +4 („äußerst angenehm“) verwendet. Es konnten Angaben in Schritten von 0,1 genannt werden. Die Akzeptanz konnte in einer Skala von -1 („klar unakzeptabel“) bis +1 („klar akzeptabel“) in Schritten von 0,1 bewertet werden. Die Abbildung 1 zeigt die verwendete Eingabemaske „Zusatzinformationen“. Pflichtangaben sind unterstrichen.

Abbildung 1: Eingabemaske „Zusatzinformationen“

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Der Schwerpunkt der Datenerhebung lag in der Aufnahme von Geruchsfällen. Weitere Angaben zur Erfassung von Geruchscharakteristika sollten von den Instituten mittels Fragebogen (siehe Anhang A) beschrieben werden. Auf die Vollständigkeit der Pflichtangaben wurde bei den Eintragungen in das Import-Tool in einigen Fällen z. B. bei den Merkmalen Baualtersklasse und Lüftung verzichtet.

Der Methodenteil wurde ebenso wie die Qualitätssicherungs-Verfahren (QS-Verfahren) gegenüber den Versionen der VOC DB 1 und 2 nur kaum verändert. Es wurden zwei Blanko-Methoden für die Eingabe neuer Methoden (z.B. Bestimmung von Ammoniak, Bestimmung von Alkansäuren) ergänzt.

Da für dieses Projekt keine Änderungen vorgenommen wurden und eine gezielte Auswertung nach Qualitätskategorien oder unterschiedlichen Messmethoden nicht vorgesehen war, erfolgt keine Beschreibung und Auswertung der Methoden und QS-Verfahren.

Das Prinzip der Messwerteingabe wurde vollständig aus dem vorherigen Import-Tool VOCDB-IT 2.0 übernommen.

Eine detaillierte Beschreibung des für die VOCDB 2.0 weiterentwickelten Import-Tools findet sich in den vorhergehenden Projektberichten (Umweltbundesamt 2008 und Hofmann et al. 2014).

2.2.3 Datenbereitstellung

Um möglichst vielen Instituten die Abgabe von Daten zu ermöglichen bzw. zu erleichtern, wurde die Art der Datenbereitstellung individuell an die Bedürfnisse der Institute angepasst. Es bestanden folgende Möglichkeiten der Abgabe:

- ▶ vollständige Eingabe der Daten in das Import-Tool,
- ▶ Eingabe der Zusatzinformationen und Bereitstellung der Messwerte in Form von anonymisierten Analyseberichten,
- ▶ Bereitstellung anonymisierter Gutachten.

Aufgrund der Heterogenität der zur Verfügung gestellten Unterlagen und der teilweise fehlenden Angaben bestand in einigen Fällen ein großer Nachbearbeitungsbedarf bei der Eingabe der Daten in das Import-Tool.

2.3 Datenerfassung und Auswertung

Das MS Access basierte Userinterface (VOCDB-UI 2.0) ermöglicht den Import der Daten aus den Erfassungs-Tools in die Datenbank, das Editieren und die Auswertung von Daten. Der Import der Daten erfolgte durch den Entwickler der Datenbank und der Tools Andreas Müller. Für die Auswertung wurde die Abfragemaske um die Geruchsparameter Intensität, Hedonik und Akzeptanz erweitert.

Weitere Angaben zur Funktionalität des Userinterfaces sind im Abschlussbericht VOC DB 2 (Hofmann et al. 2014) zu finden.

Die statistische Auswertung und die grafische Darstellung der Daten erfolgten mit Microsoft Office Excel 2016. Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden mit der halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt. In den Tabellen im Anhang ist der so berechnete Wert genannt. In den Tabellen im Text wird für die berechneten Perzentile unterhalb der Bestimmungsgrenze < BG angegeben.

3 AP 1: Auswertung der Daten der VOC DB 1 und 2

Im Rahmen der Projekte „Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft“, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 61 234 (kurz: VOC DB 1) und „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3709 62 211 (kurz: VOC DB 2) wurden umfangreiche Daten zum Vorkommen von VOC in Innenräumen erfasst. Es wurde daher im Rahmen dieses Vorhabens zu VOC und Gerüchen zunächst eine Auswertung dieser Daten im Hinblick auf das Vorkommen von VOC in „geruchsauffälligen“ Räumen durchgeführt. In einem ersten Schritt wurden Kriterien erstellt, um Räume mit Geruchsauffälligkeit zu filtern. Anschließend wurde mittels statistischer Auswertungen überprüft, ob sich Art und Höhe flüchtiger organischer Verbindungen in Räumen mit und ohne Gerüche bzw. Geruchsbeschwerden unterscheiden.

Im Einzelnen wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- ▶ Festlegung von Merkmalen für die Auswahl der Teilgruppe „geruchsauffällige“ Räume, Prüfung der Vergleichbarkeit,
- ▶ Berechnung der statistischen Kenndaten für die Teilgruppen mittels Datenbankabfrage nach den jeweiligen Gliederungsmerkmalen,
- ▶ Vergleich der statistischen Kenndaten in Räumen mit und ohne Geruchsauffälligkeit,
- ▶ Erstellung einer Stoffliste mit den in geruchsauffälligen Räumen häufiger nachgewiesenen flüchtigen organischen Verbindungen,
- ▶ Vergleich der statistischen Kenndaten für „typische“ Geruchsstoffe mit den vorläufigen Geruchsleitwerten.

3.1 Beschreibung der Datenbasis

Für die Auswertungen wurden die bisher in der Datenbank vorhandenen Daten aus den ersten beiden Forschungsprojekten der AGÖF herangezogen. Es wurden beide Projekte ausgewählt, um auf einen möglichst großen Datenpool zugreifen zu können. Aus dem Probenahmezeitraum von 2002 bis 2012 (VOC DB 1 und VOC DB 2) standen somit 7436 VOC-Datensätze mit 958.453 Messwerten zur Verfügung.

Im Rahmen des ersten Vorhabens „Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft“, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 61 234 (VOC DB 1) wurden 2.590 Datensätze mit 296.002 Einzelmesswerten aus den Jahren 2002 bis 2006 erfasst. Ein besonderes Augenmerk lag bei diesem Vorhaben auf dem Einfluss von qualitätssichernden Maßnahmen in der Analytik und Probenahme sowie auf die Messergebnisse.

Zeitlich anschließend und aufbauend auf das erste VOC-Datenbankprojekt wurden für das zweite Vorhaben „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3709 62 211 (VOC DB 2) 662.451 VOC-Messdaten aus 4846 anlassbezogenen Untersuchungen von 2006 bis 2012 erfasst und ausgewertet. Ein Schwerpunkt dieses Vorhabens bestand in der Auswertung von VOC-Messungen aus energieeffizienten Gebäuden mit und ohne technische Belüftung.

Für dieses Vorhaben wurden neben der Aufnahme von Daten aus anlassbezogenen Untersuchungen auch gezielt Messungen in ausgewählten, energetisch optimierten Gebäuden durchgeführt.

Insgesamt waren an diesen Projekten 21 AGÖF-Institute an der Bereitstellung der Daten beteiligt, davon 12 Institute an beiden Vorhaben.

3.2 Auswahl der Teilgruppen

Für eine Kategorisierung geruchsauffälliger Räume stehen zwei Gliederungsmerkmale auf zwei Betrachtungsebenen zur Verfügung:

1. Auf der Ebene „Anlass der Messung“ (Pflichtangabe): Auftragsbezogen, Geruch als Beschwerdeanlass
2. Auf der Ebene „Raumsituation“ (freiwillige Angabe): Angaben zum Geruch durch den Gutachter/-in bzw. Probennehmer/-in, Beschreibung und/oder Bewertung des Raumgeruchs.

3.2.1 Anlass

Innenraumuntersuchungen auf VOC sind in der Regel gesundheitlich motiviert. Anlässe sind häufig bereits bestehende Befindlichkeitsstörungen oder Gesundheitsbeeinträchtigungen, Belästigungen durch Gerüche und die Befürchtung, dass Gesundheitsbeschwerden eintreten könnten. Unangenehme Gerüche stellen für Raumluftuntersuchungen auf VOC neben Gesundheitsbeschwerden den zweithäufigsten Anlass dar.

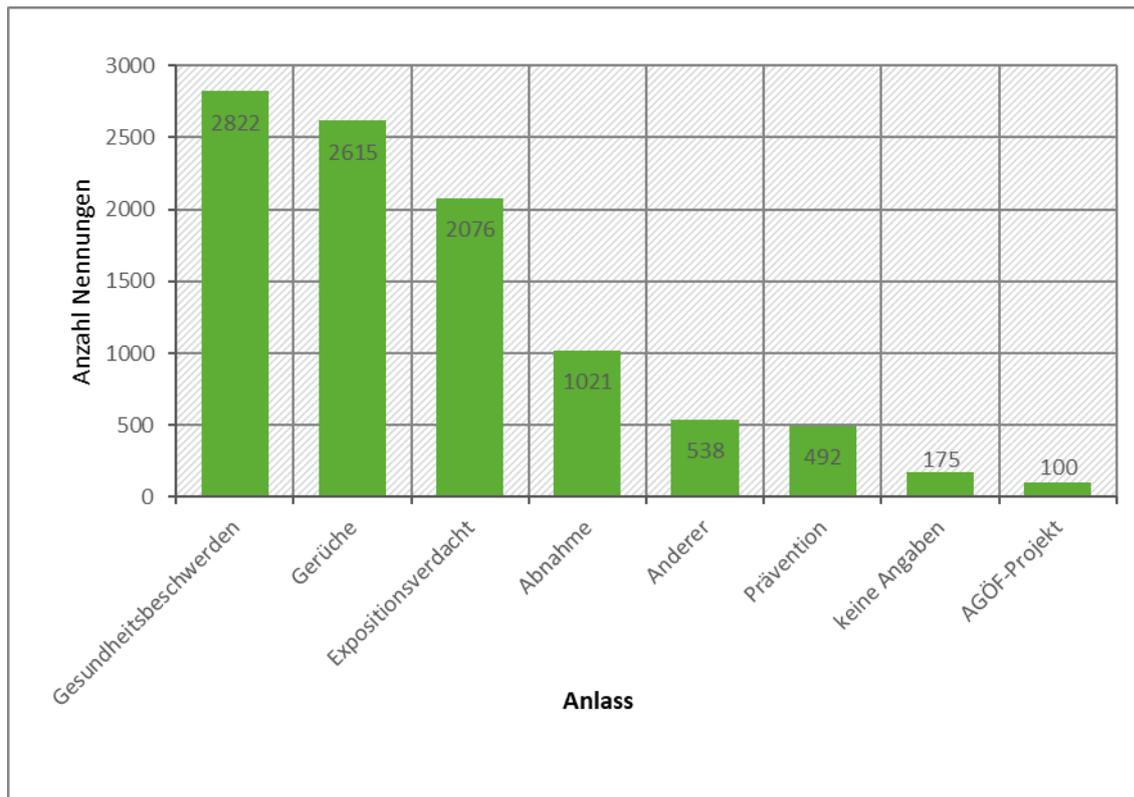
Die Nennung eines Anlasses war eine Pflichtangabe. Allerdings bestand im ersten Vorhaben auch die Möglichkeit „nicht bekannt“ zu wählen. Im zweiten Vorhaben wurden 401 ZI-Datensätze unter „Anlass Anderer“ erfasst, zu vier Datensätzen war der Anlass fehlend. Einhundert ZI-Datensätze wurden im Rahmen des zweiten Vorhabens gezielt in energieeffizienten Gebäuden erhoben (VOC DB 2, Teil B) und dem Anlass „AGÖF-Projekt“ zugeordnet.

Bei der Angabe des Anlasses waren Mehrfachnennungen möglich. Innerhalb des ersten Projektes wurde der Anlass „Gesundheitsbeschwerden“ gegenüber den übrigen Anlässen deutlich häufiger als 1. Anlass genannt. Als 2. Anlass überwog der Anlass „Geruch“. Auch innerhalb des zweiten Vorhabens wurde der Anlass „Geruch“ häufiger als 2. Anlass genannt. In der Kombination mit Gesundheitsbeschwerden lag die Anzahl der Nennungen bei 833, während Geruch als alleiniger Anlass in 533 Fällen angegeben wurde. In Kombination mit „Expositionsverdacht“ wurden in 146 Fällen Gerüche und in 153 Fällen Gesundheitsbeschwerden genannt. Der Anlass „Expositionsverdacht“ lag innerhalb des 2. Vorhabens häufiger als innerhalb des ersten Vorhabens vor. Der Anlass „Prävention“, der sich im ersten Vorhaben als zu unspezifisch erwies, hierunter wurden z. B. auch Abnahmemessungen verstanden, wurde im zweiten Projekt nicht mehr angeboten, stattdessen wurde die Kategorie „Abnahme“ ergänzt. Die Kategorie „nicht bekannt“ wurde nicht mehr angeboten. Der Anlass „Abnahme“ wurde seltener in Kombination mit weiteren Anlässen genannt. In 19 Fällen wurden Gerüche als 2. Anlass genannt, in 5 Fällen Gesundheitsbeschwerden. Die häufigste Kombination war „Expositionsverdacht“ mit 195 Nennungen.

Am häufigsten wurde somit die Kombination „Gesundheitsbeschwerden“ und „Belästigung durch Gerüche“ genannt. Gerüche wurden insgesamt am zweithäufigsten als Anlass genannt. Insgesamt erfolgten 2615 Messungen aufgrund von Geruchsbeschwerden.

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Anlässe für den Gesamtdatensatz aus VOC DB 1 und 2 bezogen auf die Anzahl der Nennungen.

Abbildung 2: Anzahl der Nennungen pro Anlass (1. und 2. Anlass) für VOC DB 1 und 2; Nennungen insgesamt 9839.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

3.2.2 Angaben zum Raumgeruch

Die Angabe, ob bei der Probenahme ein Geruch im Raum wahrgenommen wurde sowie die Beschreibung des Geruchs und die Bewertung der Geruchsintensität (nur VOC DB 2) durch die Probenehmerin bzw. den Probenehmer waren freiwillige Angaben. Die Beschreibung des Geruchs erfolgte über ein Freitextfeld. Es wurden keine Begriffe angeboten. Häufige Beschreibungen waren muffig, stechend, unangenehm, chemisch, nach Lösemitteln, teilweise auch mit Hinweisen auf Quellen, wie z. B. Geruch nach Teppichboden, frischem Holz, Benzin. Eine Geruchsbeschreibung durch die Betroffenen wurde nicht dokumentiert.

Im ersten Vorhaben wurden zum Geruch insgesamt 1180 Angaben gemacht, davon 308 mit Nein und 872 mit Ja. Bei 1405 ZI-Datensätzen lagen keine Angaben vor. Bei 429 der Ja-Angaben wurde das Textfeld Beschreibung ausgefüllt. Die hier gemachten Angaben bezogen sich auf den Geruchseindruck, die Intensität und die Qualität. Bei den übrigen 443 ZI-Datensätzen erfolgte keine Beschreibung.

Von den insgesamt 4846 ZI-Datensätzen des zweiten Vorhabens lagen für 2536 Datensätze Angaben zum Geruch vor, davon 1103 mit nein und 1403 mit ja.

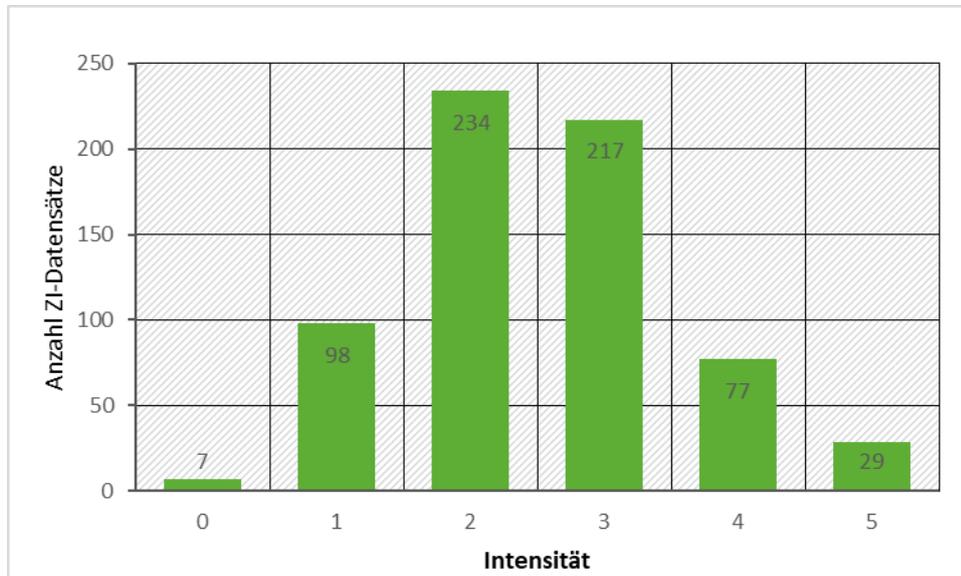
Im Rahmen des zweiten Vorhabens konnte anstelle der Beschreibung des Geruchs eine Bewertung der Geruchsintensität auf der Grundlage des AGÖF-Geruchleitfadens (AGÖF 2013) ergänzt werden. Die Geruchsnoten sollten unmittelbar nach Betreten des Raumes vergeben werden von kein Geruch (0) / sehr schwach (1) / schwach (2) / mittel (3) / stark (4) / bis sehr stark (5). Es konnten Zwischennoten für die Geruchsintensität in 0,25 Schritten genannt werden.

Für 662 ZI-Datensätze von 4846 ZI-Datensätzen erfolgte nicht nur die Beurteilung, ob ein Geruch vorhanden war, sondern auch eine Bewertung der Geruchsintensität.

Am häufigsten wurde mit 121 Nennungen die Geruchsintensität 2,0 (schwach) angegeben gefolgt von 3,0 mit 106 Nennungen. Der Mittelwert der Geruchsintensität liegt bei 2,37.

Die Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Geruchsintensität (Werte gerundet, 0 entspricht den Stufen 0; 0,25; 1 den Stufen 0,5 und 0,75, 1,00 und 1,25 usw.).

Abbildung 3: Häufigkeit des Auftretens der unterschiedlichen Stufen der Geruchsintensität in den ZI-Datensätzen. Es wurde auf ganzzahlige Schritte gerundet; n = 622.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

3.2.3 Kombination der Merkmale

Für die Auswahl der Teilgruppen wurde zunächst anhand vergleichender Auswertungen der Einfluss des Geruchsbezugs auf der Anlassebene geprüft.

Untergliedert wurde in:

- ▶ Geruchsbezug (Anlass Geruchsbeschwerde) vorhanden,
- ▶ kein Geruchsbezug (alle anderen Anlässe) vorhanden,
- ▶ im Vergleich zur Gesamtgruppe.

Aufgrund der dominierenden Einflussfaktoren Neubau und Renovierung wurden Abnahmemessungen in der Gruppe ohne Geruchsbezug ausgeschlossen. Abnahmemessungen werden in der Regel 4 Wochen nach Fertigstellung der Räume vor der Nutzungsphase durchgeführt und zeigen statistisch aufgrund der Vielzahl an neu eingebrachten Produkten höhere VOC-Konzentrationen (siehe hierzu auch die Auswertungen in den Berichten VOC DB 1, Umweltbundesamt 2008 und VOC DB 2, Hofmann et al. 2014). Bei Abnahmemessungen liegt in der Regel (noch) kein Geruchsbeschwerdeanlass vor, da die Messungen vor Nutzungsbeginn stattfinden und der Geruch für die am Bau beteiligten Personen im Allgemeinen keine relevante Bewertungsgröße darstellt. Zudem werden Neugerüche i.d.R. zumindest anfangs durch die Betroffenen akzeptiert. In der Gruppe mit Geruchsbeschwerdeanlass können Kombinationen mit Abnahmemessungen vernachlässigt werden.

Auf Raumebene konnte im Import-Tool für den Geruch keine Auswahl erfolgen (entspricht keine Angabe). Wenn eine Auswahl in dem Feld Geruch erfolgte, wurde unterschieden in „Leerfeld“ = kein Geruch und „Haken“ = Geruch vorhanden.

Im Auswertungstool werden folgende Gruppen untergliedert:

- ▶ keine Auswahl (alle Datensätze),
- ▶ keine Angabe (nur Datensätze, in denen keine Angabe zum Raumgeruch gemacht wurde),
- ▶ Geruch nein,
- ▶ Geruch ja,
- ▶ Geruch nein und keine Angabe,
- ▶ Geruch ja und keine Angabe.

Da die Nennungen zum Geruch durch die Gutachterin oder den Gutachter bzw. die Probennehmerin oder den Probennehmer freiwillig waren, liegen hier keine systematischen Angaben vor. „Geruch ja“ auf der Raumebene ist nicht zwingend mit einem Geruchsbeschwerdeanlass verknüpft (nur in Kombination mit dem Anlass Geruchsbeschwerde). Auch bei einer Abnahmemessung kann eine Geruchsauffälligkeit bei der Probenahme entsprechend erfasst worden sein. Auch in Räumen mit Geruchsbeschwerdeanlass kann die Geruchsintensität bei der Probenahme sehr gering sein. Nicht selten kann der Fall eintreten, dass ein Geruch nutzerseitig als belästigend bewertet wird und seitens der Gutachterin oder des Gutachters kaum wahrgenommen wird.

Um das Vorkommen von VOC in geruchsunauffälligen und geruchsauffälligen Räumen zu vergleichen, wurden die Geruchsbezüge auf Anlass- und Raumebene kombiniert. Folgende Merkmale wurden für die Einteilung Gruppen „Geruch ja“ und „Geruch nein“ verwendet:

- ▶ Anlass: Geruchsbeschwerde; Raumsituation: Geruch ja (kurz: Geruch ja),
- ▶ Anlass: alle Anlässe außer Geruchsbeschwerde und Abnahme; Raumsituation: Geruch nein (kurz: Geruch nein).

Für die weiteren Auswertungen wurden die Teilgruppen „Geruch ja“ und „Geruch nein“ untereinander und mit der Gesamtgruppe verglichen.

3.3 Geruchsbildende flüchtige organische Verbindungen in Innenräumen

In einigen typischen Geruchsbeschwerdesituationen werden Untersuchungen durchgeführt, um die flüchtigen organischen Verbindungen, die für die Geruchsbildung verantwortlich sind oder zumindest an der Geruchsbildung beteiligt sind, messtechnisch zu erfassen und bewerten zu können. In anderen Geruchsbeschwerdesituationen z.B. im Zusammenhang mit Tierexkrementen, Verwesung, Abwasser- oder Kochgerüchen stehen die geruchssensorische Lokalisierung der Quelle sowie deren Beseitigung im Vordergrund und es wird nicht der Versuch unternommen, einen möglicherweise aufwändigen, teilweise auch chemisch-analytisch schwer zu erzielenden Nachweis der Geruchsstoffe zu erbringen. Nicht immer lassen sich die verantwortlichen Geruchsstoffe mit den üblicherweise für die VOC Analytik eingesetzten analytischen Methoden identifizieren.

Typische Geruchsbeschwerdefälle mit den geruchsverursachenden flüchtigen Verbindungen werden in Kapitel 7 (Arbeitspaket 4) dargestellt.

Für die Auswertungen der aus den ersten beiden Datenbank-Projekten vorliegenden Daten wurden zunächst die statistischen Kennwerte für geruchsrelevante flüchtige organische Verbindungen für die verschiedenen Teilgruppen verglichen. Zu den für den Innenraum relevanten Geruchsstoffen gehören u.a. die in der nachfolgenden Aufzählung genannten Verbindungen:

- ▶ Alkene
 - 4-Phenylcyclohexen
 - Σ Isododecene
- ▶ Aromaten
 - Alkylbenzole (Toluol, Styrol, Xylol u.a.)
 - Naphthalin
 - Phenol
 - Kresole
 - Dimethylphenole
 - Ethylphenole
- ▶ Alkohole
 - 2-Ethylhexanol
 - n-Nonanol
 - Σ Isononanole
 - Σ höhere Isoalkanole
- ▶ Ketone
 - Acetophenon
- ▶ Ester
 - Ethylacetat
 - n-Butylacetat
 - Acrylate
- ▶ Aldehyde
 - Pentanal
 - Hexanal
 - Nonanal
 - n-Decanal

- n-Undecanal
- Benzaldehyd
- Furfural
- ▶ Essigsäure
 - n- und iso-Butansäure
 - n-Hexansäure
 - Ethylhexansäure
- ▶ Sonstige Verbindungen
 - Benzothiazol
 - Dimethylformamid
 - Nikotin
 - Dimethylsulfid
- ▶ MVOC
 - Geosmin
 - 1-Octen-3-ol

Geruchsbildend sind nicht nur Stoffe mit sehr niedrigen Geruchsschwellenwerten sein, wie z.B. Kresole. Auch Verbindungen mit vergleichsweise hohen Geruchsschwellenwerten z.B. aus der Gruppe der Aromaten wie Xylole oder Ester wie n-Butylacetat können, da sie aufgrund ihres Einsatzes als Lösungsmittel auch in hohen Konzentrationen in Innenräumen auftreten, zu Geruchsbeschwerden führen.

Chlornaphthaline und Chloranisole, die ebenfalls zu den typischen geruchsbildenden Verbindungen in Innenräumen gehören, werden hier nicht aufgeführt, da sie nicht den VOC zugeordnet werden. Darüber hinaus können auch anorganische Verbindungen wie Schwefelwasserstoff und Ammoniak innenraumrelevante Geruchsstoffe darstellen.

Einige der hier aufgeführten Substanzgruppen, wie z.B. Isododekene und Isononanole wurden in dem Datenerhebungszeitraum 2002 bis 2012 noch nicht erfasst. Somit liegen hier für das AP 1 noch keine Daten zur Auswertung vor.

3.4 Vergleich statistischer Kenndaten für die Teilgruppen Geruch ja und Geruch nein gegenüber Gesamtgruppe

Um zu überprüfen, ob sich Art und Höhe flüchtiger organischer Verbindungen in Räumen mit und ohne Gerüche bzw. Geruchsbeschwerdeanlass unterscheiden, wurden die nachfolgend genannten statistischen Kenndaten in Bezug auf die hierzu aufgeführten Aspekte und Fragen betrachtet.

- ▶ Größe der Stichprobe (n)

In der Regel wurde bei den Auswertungen im Rahmen der vorhergehenden Projekte eine Mindestanzahl von 20 Messwerten festgelegt. Es erfolgte hier kein Ausschluss von Stoffen mit

geringer Anzahl an Messwerten, um selten gemessene, geruchsrelevante Einzelstoffe identifizieren zu können.

- ▶ Häufigkeit des Vorkommens oberhalb der Bestimmungsgrenze (Messwerte > BG)

Welche Stoffe werden in Geruchsbeschwerderäumen häufiger nachgewiesen und welche seltener? Und: Welche Stoffe werden in Räumen ohne Geruchsauffälligkeit häufiger und welche werden seltener nachgewiesen?

- ▶ Höhe der Perzentile

Welche Stoffe werden in Räumen mit Geruchsbeschwerden in höheren Konzentrationen oder in niedrigeren Konzentrationen nachgewiesen? Und: Welche Stoffe werden in Räumen ohne Geruchsbeschwerden in höheren Konzentrationen oder in niedrigeren Konzentrationen nachgewiesen?

Die statistischen Kenndaten der Auswertungen für die genannten Teilgruppen (Größe der Stichprobe, % > BG, die Perzentile Median, P90 und P95) im Vergleich zur Gesamtgruppe finden sich in der Tabelle 1 im Anhang B.

3.5 Ergebnisse

Der Anteil an Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze liegt in der Gesamtgruppe VOC DB 1 und 2 bei 65,5 %. Von den 958.453 Messwerten liegen somit 627.751 Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Für die regelmäßig gemessenen Stoffe stehen in der Gesamtgruppe DB 1 und 2 annähernd 6000 Messwerte pro Verbindung zur Verfügung. In den Teilgruppen werden noch etwa 500 Messwerte pro Verbindung für häufig gemessene Stoffe ausgewertet. Die Anzahl an Messwerten pro Stoff weist, aufgrund der unterschiedlichen Substanzspektren der Institute große Unterschiede auf.

Nachfolgend werden die Ergebnisse stoffgruppenbezogen dargestellt. Substanzen oder Substanzgemische, deren Vorkommen sich in den Teilgruppen deutlich unterscheidet, sind durch Fettdruck hervorgehoben.

3.5.1 Alkane (n-Alkane, Isoalkane und Cycloalkane)

Alkane werden bei VOC-Untersuchungen routinemäßig erfasst. In den Projekten DB 1 und 2 wurden Alkane in mehr als der Hälfte der untersuchten Räume in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Die Konzentrationen sind in der Regel gering. Die 90. Perzentile der Alkane lagen überwiegend unter $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchsten Perzentile wurden für n-Undecan ermittelt.

Es handelt sich bei Alkanen nicht um innenraumrelevante Geruchsstoffe. In der Literatur genannte Geruchsschwellenwerte für Alkane liegen im Milligrammbereich (Yoshio Y, Nagata E 2003). Geruchsbildungen im Zusammenhang mit hohen Aliphatenkonzentrationen werden in der Regel durch Verunreinigungen oder andere Stoffe erzeugt, die in Verbindung mit Aliphaten vorkommen (z.B. Schwefelverbindungen in Heizöl).

Der Vergleich der Perzentilwerte für die Gesamtgruppe DB 1 und DB 2 mit den Teilgruppen Geruch ja und Geruch nein zeigt für beide Gruppen überwiegend niedrigere Perzentilwerte als in der Gesamtgruppe. In der Gruppe Geruch ja war der Anteil der Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze für viele Alkane höher.

Für Alkane, die insgesamt selten gemessen wurden, liegen in den Teilgruppen zum Teil nur noch sehr wenige ($n < 10$) oder keine Messwerte mehr vor.

2,2,4,4,6-Pentamethylheptan wurde in der Teilgruppe Geruch ja nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. 2,2,4,4,6-Pentamethylheptan wurde bei insgesamt geringer Fallzahl in der Teilgruppe Geruch nein häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze und in höheren Konzentrationen ermittelt.

Für Trans-Decahydronaphthalin wurden in der Teilgruppe Geruch nein ebenfalls häufiger Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze und höhere Konzentrationen ermittelt.

Cyclopentan dagegen lag häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze und mit höheren Perzentilen in der Gruppe Geruch ja vor.

3.5.2 Alkene

Alkene werden in Innenräumen i.d.R. selten nachgewiesen und wenn ja, sind die Konzentrationen niedrig. Die Stoffgruppe der hier untersuchten Alkene umfasst nur 11 Einzelstoffe. Die Konzentrationen der untersuchten Alkene lagen überwiegend unterhalb der Bestimmungsgrenze. 95 % der Messwerte waren kleiner BG. Die meisten Messwerte lagen für 4-Phenylcyclohexen, 1-Octen und 1-Decen vor. Den häufigsten Nachweis oberhalb der Bestimmungsgrenze und die höchste Konzentration wurde für 1-Hepten festgestellt. Am zweithäufigsten wurde aus dieser Gruppe das trimere Isobuten nachgewiesen. Das 95. Perzentil für 1-Hepten erreichte $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für trimeres Isobuten $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Zu dieser Gruppe gehören Verbindungen, die u.a. als Problemstoffe bei Teppichbodengerüchen genannt werden, wie z. B. 4-Phenylcyclohexen.

In der Gruppe Geruch ja wurde **1-Hepten**, der Stoff, der insgesamt am häufigsten nachgewiesen wird, häufiger und mit höheren Perzentilen ermittelt. Trimeres Isobuten, Cyclohexen, 4-Vinylcyclohexen, 4-Phenylcyclohexen werden in der Gruppe Geruch ja etwas häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

3.5.3 Aromaten

Aromatische Verbindungen werden in größerer Anzahl routinemäßig bei Raumluftuntersuchungen erfasst. Einige Aromaten, wie z.B. Toluol werden fast immer in Innenräumen nachgewiesen (96,3 % > BG). Hohe Raumluftkonzentrationen erreichen in dieser Gruppe u.a. Toluol, m/p Xylol, Styrol sowie einige weitere Alkylbenzole.

Die Gruppe aromatischer Verbindungen umfasst eine Vielzahl von Geruchsstoffen mit teilweise sehr niedrigen Geruchsschwellenwerten.

In der Geruchsgruppe wurden überwiegend niedrigere Aromatenkonzentrationen als in der Gesamtgruppe gemessen. Die Unterschiede zwischen den Gruppen Geruch ja und Geruch nein waren überwiegend gering. Es wurde keine Auffälligkeit für Phenol festgestellt. Für Styrol wurden in der Gruppe „Geruch nein“ niedrigere Perzentile und in Gesamtgruppe und der Gruppe Geruch ja ähnliche Perzentile ermittelt.

Für Kresole war die Anzahl der Messwerte vergleichsweise gering. Für Kresole wurden teilweise sehr niedrigere Bestimmungsgrenze angegeben. Es wurden auffällige Unterschiede festgestellt: m/p-Kresol wurde in der Geruchsgruppe häufiger oberhalb der Nachweisgrenze und in deutlich höheren Konzentrationen bestimmt als in der Gesamt und der Geruch-nein-Gruppe. In der Gruppe Geruch nein waren der Anteil >BG und die Perzentile noch niedriger als in der Gesamtgruppe.

Auch einige **Dimethylphenole** und **Ethylphenole** wurden in Geruchsräumen häufiger nachgewiesen, die hier ermittelten Perzentile unterschieden sich kaum.

Naphthalin wurde in geruchsauffälligen Räumen häufiger und in höheren Konzentrationen bestimmt.

1- und 2-Methylnaphthalin wurden ebenfalls in geruchsauffälligen Räumen häufiger bestimmt, die Konzentrationen waren ähnlich.

Für Dimehtylnaphthaline sind die Fallzahlen in der Gruppe Geruch ja zu klein (3 Fälle). Das gilt auch für Inden (2 Fälle), bei denen allerdings sehr hohe Konzentrationen vorlagen ($> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In der Gesamtgruppe (N=716) wurde Inden nur in 2 % der Messungen oberhalb der BG ermittelt, in Fällen ohne Geruch (N=200) in 1 % der Messungen.

3.5.4 Halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW)

Halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW) werden in Innenräumen selten nachgewiesen. Für die meisten Substanzen aus dieser Gruppe liegt das 95. Perzentil unterhalb von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. unterhalb der Bestimmungsgrenze. Am häufigsten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde 1,2-Dichlorethan (9,5 % der Messwerte lagen oberhalb der Bestimmungsgrenze), der halogenierte Kohlenwasserstoff, der mit $1.800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auch den höchsten Maximalwert in dieser Stoffgruppe erzielte. Die meisten Messwerte liegen für Tetrachlorethen vor (N=5950), das ebenfalls mit 8,8 % der Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze relativ häufig nachgewiesen wurde.

In dieser Gruppe finden sich neben vielen eher geruchsunauffälligen Stoffen auch einige Verbindungen mit sehr niedrigen Geruchsschwellenwerten, wie z.B. Chlornaphthaline. Chloranisole, deren Bildung häufig in älteren Fertighäusern zu Geruchsproblemen führt, sowie höher chlorierte Naphthaline gehören nicht zu den hier betrachteten VOC, da sie nicht mit den gängigen VOC-Methoden erfasst werden.

Es wurden keine auffälligen Konzentrationsunterschiede in den Teilgruppen festgestellt.

Für die am häufigsten nachgewiesene Verbindung 1,2-Dichlorethan besteht kein Unterschied zwischen der Gesamtstichprobe und den Teilgruppen. 1,1,1-Trichlorethan wurde in Räumen mit Geruch seltener nachgewiesen.

Dagegen wurde **1,4-Dichlorbenzol** in den Räumen mit Geruch häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Die Perzentile waren in den Teilgruppen ähnlich niedrig.

1-Chlornaphthalin in wurde den Räumen mit Geruch häufiger nachgewiesen. Die Perzentile waren in allen Gruppen niedrig.

3.5.5 Alkohole

Alkohole werden in Innenräumen häufig oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. 1-Butanol beispielsweise wurde in 89,5 % der Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Die 90-Perzentilwerte liegen für die häufig nachgewiesenen Alkohole bei Werten oberhalb von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für die VVOC wie Ethanol und 2-Propanol, die in Innenräumen hohe Konzentrationen erreichen können, liegen sie sogar mit P90-Werten von $376 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Ethanol und $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für 2-Propanol deutlich darüber.

Alkohole spielen für das Auftreten von Geruchsbeschwerden in Innenräumen oftmals eine wichtige Rolle.

Höhere Alkohole (ab C6) wurden in Räumen mit Geruch häufiger nachgewiesen. Die Perzentile sind innerhalb der Teilgruppen ähnlich. Für 2-Ethyl-1-hexanol, der am häufigsten gemessene Alkohol, wurden in den Teilgruppen mit und ohne Geruch höhere P90- und P95-Werte ermittelt als in der Gesamtgruppe. Der P90 ist in der Gruppe mit Geruch am höchsten und der P95 in der Gruppe ohne Geruch.

3.5.6 Terpenoide Verbindungen

Die am häufigsten untersuchten Terpene α -Pinen, β -Pinen, Limonen und Δ -3-Caren mit bis zu über 6.000 Messwerten werden in den meisten Innenräumen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Die höchsten 90. Perzentile liegen bei $77,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ α -Pinen und $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Δ -3-Caren. Das 90. Perzentil für Limonen erreicht $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Viele Terpene sind klassische Geruchs- und Aromastoffe, die natürlich vorkommen und vielfältig technisch eingesetzt werden.

Die Geruchsgruppe zeigt gegenüber der Gruppe ohne Geruch sowie der Gesamtgruppe in dieser Stoffgruppe vielfach keine auffälligen Unterschiede. Für α -Pinen, β -Pinen und Limonen liegen die Perzentile in den Gruppen auf einem ähnlichen Niveau. Für **Δ -3-Caren** waren die Konzentrationen (P90 und P95) in der Geruchsgruppe deutlich höher. Einige Terpene wurden in der Geruchsgruppe häufiger nachgewiesen bei ähnlichen Perzentilen. **α -Terpineol** wurde häufiger und in etwas höheren Konzentrationen in der Geruchsgruppe bestimmt.

3.5.7 Aldehyde

Aldehyde werden häufig untersucht und oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Die Aldehyde Formaldehyd, Acetaldehyd und n-Hexanal wurden in über 95 % der untersuchten Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze vorgefunden. Viele Aldehyde erreichen in Innenräumen hohe Medianwerte. Die höchsten Konzentrationen und entsprechend hohe Perzentilwerte wurden für Formaldehyd (VOC, Nachweis mittels DNPH) ermittelt. Das 90. Perzentil liegt bei $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aldehyde sind für Geruchsbildungen in Innenräumen häufig von Bedeutung. Zu dieser Stoffgruppe gehören zahlreiche innenraumrelevante Einzelstoffe mit niedrigen Geruchsschwellenwerten. Häufig handelt es sich bei Aldehydimmissionen um Sekundäremissionen, das bedeutet, dass diese Stoffe in Produkten erst durch reaktive Prozesse gebildet werden.

Die Unterschiede in der Nachweishäufigkeit sind zwischen den Teilgruppen und der Gesamtgruppe gering.

Formaldehyd wurde in der Geruchsgruppe eher in etwas niedrigeren Konzentrationen gemessen und in der Gruppe ohne Geruch in höheren Konzentrationen. Für Acetaldehyd, Propanal, Butanal und Pentanal wurden etwas höhere Konzentrationen in der Geruchsgruppe und niedrigere Konzentrationen in der Gruppe ohne Geruch gemessen.

Deutlicher fällt dieser Unterschied für **Hexanal und Benzaldehyd** aus. Hier fallen die Perzentile in der Geruchsgruppe höher aus und sind in der Gruppe ohne Geruch deutlich niedriger.

Ähnliche Unterschiede - weniger deutlich - zeigen sich auch noch bei Heptanal. Für Octanal und Nonanal sind die Perzentile in der Geruchsgruppe etwas höher, die Gruppen ohne Geruch und Gesamt zeigen ein ähnliches Niveau.

Für ungesättigte Aldehyde standen leider nur sehr wenige Datensätze für die Auswertung zur Verfügung. Das am häufigsten gemessene 2-Butenal wurde in der Geruchsgruppe etwas häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen ebenso Acrolein.

Deutlich häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze und in höheren Konzentrationen wurde **Furfural** in der Geruchsgruppe nachgewiesen. Der Unterschied zwischen der Gesamtgruppe und der Gruppe ohne Geruch ist unauffällig.

Der Duft- und Aromastoff Vanillin wurde in der Gesamtgruppe bei einer Anzahl von 434 Messwerten nur in 2,3 % der Fälle oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. In den Gruppen mit und ohne Geruch wurde Vanillin bei niedriger Fallzahl dagegen nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.

3.5.8 Ketone

Auch Ketone gehören zu den regelmäßig in Innenräumen nachgewiesenen Verbindungen. Zu den am häufigsten untersuchten Ketonen gehören Cyclohexanon, Methylethylketon (2-Butanon), Methylisobutylketon (MIBK) und Acetophenon. Die höchsten Konzentrationen in den untersuchten Innenräumen lagen für Aceton (VVOC) vor. Das 90. Perzentil der Acetonverteilung wurde mit $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt. Der P90-Wert für Methylethylketon liegt bei $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ketone können bei Geruchsauffälligkeiten in Innenräumen eine Rolle spielen. Einige Ketone weisen niedrige Geruchsschwellenwerte auf.

Methylethylketon (MEK, 2-Butanon) und Methylisobutylketon (MIBK) wurden in der Geruchsgruppe und in der Gruppe ohne Geruch in deutlich niedrigeren Konzentrationen gemessen. Hier handelt es sich um Ketone, die häufig in neuen oder frisch renovierten Gebäuden in höheren Konzentrationen nachgewiesen werden.

3-Octanon wurde in beiden Teilgruppen gegenüber der Gesamtgruppe häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Acetophenon wurden in der Geruchsgruppe häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze und in höheren Konzentrationen nachgewiesen.

3.5.9 Ester ein- und zweiwertiger Alkohole

Ester werden ebenfalls regelmäßig im Rahmen von VOC-Messungen in Innenräumen untersucht. Die Ester Methylacetat (VVOC), Ethylacetat und n-Butylacetat wurden in der Raumluft in über 70 % der Messungen nachgewiesen und erreichten sehr hohe Raumluftkonzentrationen. Die Maximalwerte lagen bei $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Methylacetat, $5200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Ethylacetat und $16014 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für n-Butylacetat. Die 90. Perzentile für Ethylacetat und n-Butylacetat liegen bei $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Bei den Acrylaten wurden die höchsten Konzentrationen für Methacrylsäuremethylester (MMA) ermittelt.

Von den Glykolestern wurden am häufigsten Propylenglykolmonomethyletheracetat (PGMMA), Ethylenglykolmonomethyletheracetat (EGMEA) und Ethylenglykolmonobutyletheracetat (EGMBA) untersucht. Während Ethylenglykolmonomethyletheracetat (EGMEA) und Ethylenglykolmonobutyletheracetat (EGMBA) in 0,8 % bzw. 3,8 % der Proben bestimmt wurden, lag die Häufigkeit des Nachweises oberhalb der Bestimmungsgrenze bei Propylenglykolmonomethyletheracetat (PGMMA) bei 49,1 %. Diese Substanz erreicht auch die höchsten Perzentilwerte innerhalb der Glykolester. Das 90. Perzentil für PGMMA liegt bei $9,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dicarbonsäureester und Phthalate wurden ebenfalls häufig untersucht. Während Phthalate häufig nachgewiesen wurden, waren die übrigen Dicarbonsäureester eher selten in den untersuchten Raumlufthproben nachweisbar. Von den Dicarbonsäureestern wurde die höchste Einzelstoffkonzentration für Dimethylglutarat mit $946 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt.

Häufig untersucht wurden in der Stoffgruppe Ester auch Texanol und TXIB. Während Texanol in ca. 21 % der Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt wurde, war TXIB in ca. 41 % der Proben bestimmbar.

Ester gehören bei vielen Obstarten zu den geruchsprägenden Inhaltsstoffen. Ester wie z.B. Methylacetat (VVO), Ethylacetat oder n-Butylacetat können aufgrund ihres Einsatzes als Lösungsmittel in hohen Konzentrationen in Innenräumen auftreten und trotz ihrer vergleichsweise hohen Geruchsschwellen zu Geruchsbeschwerden führen.

Auch in dieser Stoffgruppe fällt auf, dass Ethyl- und Butylacetat in den Teilgruppen mit und ohne Geruch in deutlich niedrigeren Konzentrationen bestimmt wurden als in der Gesamtgruppe. Auch weitere Ester werden tendenziell in den Teilgruppen in niedrigeren Konzentrationen bestimmt.

Für Acrylate wie z.B. MMA, das einen sehr unangenehmen Geruch aufweist, wurden keine auffälligen Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt.

Für **Texanol** wurden in der Geruchsgruppe höhere und in der Gruppe ohne Geruch niedrigere Konzentrationen gemessen.

3.5.10 Mehrwertige Alkohole und deren Ether (Glykole und Glykolether)

Zu den am häufigsten untersuchten und oberhalb der Bestimmungsgrenzen nachgewiesenen Glykolen und Glykolethern gehören 1,2-Propylenglykolmonomethylether (1,2-PGMM), Ethylenglykolmonobutylether (EGMB), 1,2-Propylenglykol (1,2-PG), Ethylenglykolmonophenylether (EGMP oder Phenoxyethanol) und Dipropylenglykolmonomethylether (DPGMM).

Die höchsten Konzentrationen wurden für Dipropylenglykoldimethylether, Ethylenglykolmonobutylether, Diethylenglykolmonoethylether, 3-Methoxy-1-butanol und 1,2-Propylenglykolmonomethylether ermittelt. Die P-90-Werte liegen für 1,2-Propylenglykol, 1,2-Propylenglykolmonomethylether und Ethylenglykolmonobutylether zwischen $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Bei Glykolen und Glykolethern handelt es sich in der Regel nicht um Verbindungen, die in Innenräumen unangenehme Gerüche verursachen.

Für viele Glykole und Glykolether wurden in der Geruch-ja-Gruppe gegenüber der Gesamtgruppe niedrigere Konzentrationen bestimmt. In der Geruch-nein-Gruppe wurden teilweise noch niedrigere Konzentrationen ermittelt.

Davon abweichend waren für 1,2-Propylenglykol, 1,2-Propylenglykolmonobutylether, Dipropylenglykolmonomethylether und Dipropylenglykolmonobutylether die Konzentrationen in der Geruch-ja-Gruppe höher.

3.5.11 Siloxane

Von den sieben hier aufgeführten Siloxanen wurden die drei cyclischen Siloxane Hexamethylcyclotrisiloxan (D3), Octamethylcyclotetrasiloxan (D4) und Decamethylcyclopentasiloxan (D5) am häufigsten untersucht und am häufigsten in der Raumlufth nachgewiesen. Die höchsten Messwerte wurden für Decamethylcyclopentasiloxan (D5) ermittelt. Das 90. Perzentil für Decamethylcyclopentasiloxan (D5) erreicht $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Bei den hier untersuchten Siloxanen handelt es sich nicht um Geruchsstoffe.

Für Siloxane wurden in der Gesamtgruppe die höchsten Konzentrationen gemessen.

3.5.12 Organische Säuren

Für die häufiger untersuchten Alkansäuren liegt die Fallzahl bei ca. 2250 Messwerten. Essigsäure, wurde am häufigsten, in 87,4 % der Fälle, oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen und erreicht die höchsten Perzentile. Das 90. Perzentil für Essigsäure liegt bei 93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Propionsäure und n-Hexansäure wurden noch in mehr als der Hälfte der Untersuchungen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Einige der untersuchten Alkansäuren sind mit den hier eingesetzten analytischen Methoden nicht vollständig erfassbar. Dennoch stellen die hier eingesetzten Verfahren die üblicherweise im Rahmen von VOC-Raumluftuntersuchungen eingesetzten Methoden dar.

Organische Säuren können Geruchsbeschwerden in Innenräumen verursachen, da einige der Alkansäuren bereits in niedrigen Konzentrationen unangenehme Gerüche verursachen.

Essigsäure wurde am häufigsten und in höheren Konzentrationen in der Geruchsgruppe nachgewiesen. Isobuttersäure und Hexansäure wurden ebenfalls häufiger und in höheren Konzentrationen in der Geruchsgruppe nachgewiesen. Die weiteren, höheren Alkansäuren wurden ebenfalls häufiger in der Geruchsgruppe oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt. Die Konzentrationsunterschiede waren hier jedoch unauffällig.

3.5.13 Sonstige Verbindungen

Zu den sonstigen Verbindungen werden Verbindungen wie Ether, Oxime, Lactone sowie Stickstoff- und Schwefelverbindungen wie z.B. Isothiazolinone gezählt. Häufig untersucht ($n > 4700$) wurden Methyl-2-pyrrolidon und Tetrahydrofuran sowie mit geringeren Fallzahlen ($n > 2900$) 2-Butanonoxim, Benzothiazol, Caprolactam und 1,4-Dioxan. Der höchste 95-Perzentilwert wurde mit 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für 2-Butanonoxim ermittelt. Für einige Stoffe in dieser Gruppe stehen nur geringe Fallzahlen zur Verfügung, unter denen teilweise keine Geruchsfälle sind.

Neben nicht geruchsauffälligen Stoffen wie z.B. 2-Butanonoxim gehören in diese Stoffgruppe auch Einzelstoffe mit sehr niedriger Geruchsschwelle wie z.B. Nikotin, Trimethylamin oder Benzothiazol.

Furane wurden in der Geruch-ja-Gruppe häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt. Die Unterschiede für die ermittelten Perzentile sind gering.

Für 2-Butanonoxim und Methyl-2-pyrrolidon wurden in den Teilgruppen mit und ohne Geruch niedrigere Konzentrationen als in der Gesamtgruppe bestimmt.

Für Nicotin lagen insgesamt nur vier Messwerte vor, drei aus Nicht-Geruchsräumen mit nur einem Wert oberhalb der Bestimmungsgrenze, eine Messung mit einem Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenze in einem Geruchsraum.

Für Triethylamin liegen insgesamt nur wenige Messwerte vor, die zu nahezu 98 % unterhalb der Bestimmungsgrenze waren. In der Geruchsgruppe wurde ein Fall mit 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Triethylamin bestimmt.

Caprolactam wurde in der Geruchsgruppe häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Das 90. Perzentil ist etwas höher als in der Gesamtgruppe.

Für Methylisothiazolinon, Benzothiazol und Dimethylsulfid wurden in der Geruchsgruppe höhere Perzentile ermittelt.

3.5.14 TVOC

Von den verschiedenen, laborspezifisch ausgewerteten Summenwerten wurden in die Kennwerttabelle nur der TVOC (TVOC Gesamtsumme), der durch Aufsummieren der substanzspezifisch quantifizierten Substanzen und der zusätzlichen Verbindungen, die über den Responsefaktor von Toluol quantifiziert wurden und im Retentionszeitbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadekan berechnet wurde sowie der TVOC über Toluol (TVOC Toluol gesamt), für dessen Bestimmung alle Peaks in dem Retentionszeitbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadekan über den Responsefaktor von Toluol quantifiziert wurden, aufgenommen.

TVOC-Summenwerte wurden in der Gesamtgruppe leider nur für etwa ein Drittel der Messungen angegeben. Es wurde in der Gesamtgruppe für die TVOC Gesamtsumme ein Median in Höhe von 360 µg/m³ ermittelt. Der 90. Perzentilwert liegt bei 1572 µg/m³, das 95. Perzentil bei 2398 µg/m³. Der Maximalwert erreichte 27.520 µg/m³. Die Konzentrationen für den TVOC über Toluol waren vergleichbar. Die höchsten Perzentile wurden für die Gruppe „Anlass Abnahme“ ermittelt. Für den TVOC wurden in der Geruchsgruppe gegenüber der Gesamtgruppe etwas niedrigere Perzentile ermittelt. Noch niedrigere Perzentile wurden in der Gruppe ohne Geruch festgestellt.

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die statistischen Kennwerte für die Teilgruppen.

Tabelle 1: Statistische Kennwerte für den TVOC, Gesamtgruppe und die Teilgruppen „Geruch ja“, „Geruch nein“, „Anlass Abnahme“.

| | n | P50 µg/m ³ | P90 µg/m ³ | P95 µg/m ³ | Max µg/m ³ |
|-----------------------|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Gesamt | 2505 | 360 | 1.572 | 2.398 | 27.520 |
| Geruch ja | 349 | 350 | 1.460 | 2.060 | 7.700 |
| Geruch nein | 338 | 270 | 957 | 1.630 | 5.600 |
| Anlass Abnahme | 609 | 520 | 2.004 | 3.084 | 17.000 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

3.6 Stoffliste

In der nachfolgenden Liste werden die Stoffe aufgeführt, die bei einer Mindestanzahl von mehr als 25 Messwerten in der Geruchsgruppe häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze und mit höheren Perzentilen ermittelt wurden:

- ▶ Alkane
 - Cyclopentan
- ▶ Alkene
 - 1-Hepten
- ▶ Aromaten
 - m-/p-Kresol
 - Naphthalin
 - 1-Methylnaphthalin

- 2-Methylnaphthalin
- ▶ Terpene
 - Δ -3-Caren
 - α -Terpineol
- ▶ Ketone
 - Acetophenon
- ▶ Ester
 - Texanol
- ▶ Aldehyde
 - Acetaldehyd
 - Propanal
 - Pentanal
 - Hexanal
 - Furfural
- ▶ Alkansäuren
 - Essigsäure
 - n-Butansäure
 - iso-Butansäure
 - Pentansäure
 - n-Hexansäure
- ▶ Sonstige Verbindungen
 - Dimethylsulfid
 - 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on
 - Benzothiazol

In der nachfolgenden Tabelle 2 werden für einige dieser Verbindungen die 90. und 95. Perzentile genannt.

Tabelle 2: Statistische Kennwerte von einigen der in der Stoffliste genannten Verbindungen für die Gesamtgruppe und die Teilgruppen Geruch ja und Geruch nein

| Stoffe | Gesamt DB 1 und 2 P90 µg/m ³ | Gesamt DB 1 und 2 P95 µg/m ³ | Geruch ja P90 µg/m ³ | Geruch ja P95 µg/m ³ | Geruch nein P90 µg/m ³ | Geruch nein P95 µg/m ³ |
|-----------------------------|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Cyclopentan | 4,0 | 8,0 | 7,0 | 11,8 | 2,0 | 4,5 |
| 1-Hepten | 2,3 | 4,0 | 4,0 | 7,0 | 2,0 | 3,0 |
| m-/p-Kresol | 0,5 | 1,6 | 2,9 | 9,7 | 0,5 | 0,5 |
| Naphthalin | 1,6 | 3,0 | 3,0 | 6,1 | 1,0 | 2,1 |
| Δ-3-Caren | 30,0 | 62,0 | 52,8 | 103,6 | 25,0 | 70,4 |
| Propanal | 15,0 | 23,0 | 22,5 | 28,8 | 9,8 | 15,0 |
| Hexanal | 61,0 | 97,0 | 78,9 | 121,0 | 37,4 | 57,0 |
| Furfural | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 7,9 | 3,0 | 4,2 |
| Acetophenon | 4,0 | 6,0 | 5,0 | 10,0 | 4,0 | 5,6 |
| Texanol | 3,0 | 7,0 | 4,0 | 10,7 | 1,0 | 2,9 |
| Essigsäure | 93,0 | 150,0 | 133,0 | 190,0 | 71,2 | 92,1 |
| iso-Butansäure | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 3,0 | 0,5 | 1,0 |
| Hexansäure | 6,0 | 11,0 | 9,0 | 18,6 | 3,5 | 7,0 |
| Dimethylsulfid | 0,7 | 1,0 | 0,8 | 1,7 | 0,6 | 0,7 |
| 2-Methyl-4-isothiazoli-3-on | 0,5 | 0,5 | 1,3 | 1,6 | 0,5 | 0,5 |
| Benzothiazol | 1,0 | 3,0 | 2,0 | 5,0 | 1,0 | 2,0 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Zu den in geruchsauffälligen Innenräumen häufiger und in höheren Konzentrationen nachgewiesenen Verbindungen zählen Stoffe, die zu den typischen Verbindungen gehören, von denen in Innenräumen Geruchsbeschwerden ausgehen können. Andere Stoffe, die wiederum in Innenräumen zu Geruchsbeschwerden führen, waren dagegen statistisch unauffällig. Dagegen waren auch Stoffe statistisch auffällig, wie z.B. Cyclopentan, bei denen es sich nicht um typische Innenraumgeruchsstoffe handelt, die aber möglicherweise im Zusammenhang mit einer Geruchsbildung stehen.

Neben einer Nennung der Stoffe, die in Geruch-ja-Gruppe häufiger und mit höheren Konzentrationen nachgewiesen wurden, können auch Stoffe genannt werden, die in der Geruchsgruppe in niedrigeren Konzentrationen gemessen wurden. Hierzu gehören u.a. die in der nachfolgenden Aufzählung aufgeführten Stoffe:

- ▶ Ketone
 - 2-Butanon (MEK)
 - MIBK
- ▶ Ester

- Ethylacetat
- Butylacetat
- ▶ Glykolderivate
 - Propylenglykolmonomethyletheracetat
 - Ethylenglykolmonobutylether
- ▶ Sonstige Verbindungen
 - 2-Butanonoxim

Hierbei handelt es sich um Verbindungen, die in neu errichteten oder frisch renovierten Räumen häufiger und in höheren Konzentrationen nachgewiesen werden.

3.7 Vergleich der VOC-Konzentrationen mit den vorläufigen Geruchsleitwerten

2013 wurde von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (jetzt: Ausschuss für Innenraumrichtwerte AIR) ein Konzept für die gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen mithilfe von Geruchsleitwerten zur öffentlichen Diskussion bis Dezember 2015 vorgelegt (Umweltbundesamt 2014).

Auf der Basis von Geruchswahrnehmungsschwellen ODT 50 wurden für 32 Geruchsstoffe vorläufige Geruchsleitwerte I und II für eine regulatorische Anwendung abgeleitet. Eine Konzentration von 6 ODT 50 wird als vorläufiger Geruchsleitwert I (vGLW I) und eine Konzentration von 48 ODT 50 wird als vorläufiger Geruchsleitwert II (vGLW II) bezeichnet. Summenleitwerte für Geruchstoffgruppen werden aufgrund fehlender Grundlagen nicht abgeleitet. Aufgrund der Vielzahl an Stellungnahmen erfolgt zurzeit eine Überarbeitung des Entwurfs.

Der AIR empfiehlt nach Abschluss der Pilotphase die Anwendung der vorläufigen Geruchsleitwerte bis zu Überarbeitung des Bewertungskonzeptes nicht weiter (Umweltbundesamt 2017).

Geruchs- aber auch Akzeptanzschwellenwerte sind für die gutachterliche Bewertung von VOC-Untersuchungsergebnissen von großer Bedeutung, weil sie eine Identifizierung der für das Geruchsproblem verantwortlichen Substanzen ermöglichen und zur Quellenermittlung beitragen.

Die vorläufigen Geruchsleitwerte I und II werden hier vergleichend den Auswertungen gegenübergestellt. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die VOC-Konzentrationen überwiegend nach einer Nichtbelüftungsdauer von mindestens 8 Stunden ermittelt wurden. Das Geruchsleitwertekonzept sieht zwei Messungen vor: Eine erste Messung nach 8-stündiger Gleichgewichtseinstellung zur Ermittlung, ob Geruchsstoffe in der Raumluft in relevanten Konzentrationen vorkommen und eine 2. Messung nach intensiver Lüftung und einstündiger Nichtbelüftung zur Bewertung der Geruchsstoffkonzentrationen auf der Grundlage des vorgeschlagenen Bewertungskonzeptes.

In den nachfolgenden Tabellen werden die Überschreitungen der vorläufigen Geruchsleitwerte in der Gesamtgruppe sowie den Teilgruppen „Geruch ja“ und „Geruch nein“ dargestellt.

Die höchsten Anteile an Geruchsleitwertüberschreitungen wurden in allen drei Gruppen für Hexanal und Ethanal (Acetaldehyd) festgestellt. Für Hexanal wurde der vGLW I mit 62,5 % der Messungen am häufigsten in der Gesamtgruppe überschritten. In der Gruppe „Geruch ja“ lag der Anteil oberhalb des vGLW I bei 61,4 %, in der Gruppe „Geruch nein“ noch bei 48 %. Auch der Anteil an vGLW II-Überschreitungen war für Hexanal am häufigsten. Hier wurde der höchste Wert 11,2 % in der Gruppe „Geruch ja“ ermittelt. In der Gesamtgruppe lag der Anteil oberhalb des vGLW II bei 8,3 %, in der Gruppe „Geruch nein“ bei 4,1 %. Für Ethanal wurde der vGLW I in der Gesamtgruppe bei 51,5 % der Messungen überschritten. In der Gruppe „Geruch ja“ lag der Anteil oberhalb des vGLW I bei 59,6 %, in der Gruppe „Geruch nein“ bei 40,1 %. VGLW II-Überschreitungen wurden in der Gesamtgruppe noch in 1,9 % der Fälle gemessen, in 2,0 % der Fälle in der Gruppe „Geruch ja“ und in keinem Fall in der Gruppe „Geruch nein“.

In der Gruppe „Geruch ja“ wurden in über 20 % der Messungen die vGLW I für Butanal, Pentanal, Heptanal und Octanal überschritten. Der Anteil an vGLW I-Überschreitungen war in der Gesamtgruppe etwas niedriger und in der Gruppe „Geruch nein“ deutlich niedriger. Die vGLW II werden für diese Stoffe selten überschritten (überwiegend in weniger als 1 % der Messungen). Nur für Pentanal wurden in der Gesamtgruppe und in der Gruppe „Geruch ja“ noch in mehr als 1 % der Messungen Werte oberhalb des vGLW II ermittelt. Der Geruchsleitwert II wurde in der Gesamtgruppe noch in 1,2 % der Fälle überschritten und in 6,5 % der Fälle in der Gruppe „Geruch ja“ und in keinem Fall in der Gruppe „Geruch nein“.

Deutliche Unterschiede in den Gruppen zeigen sich für m/p-Kresol, das hier als Summenwert angegeben und mit den Geruchsleitwerten von p-Kresol verglichen wurde. Der vGLW I für p-Kresol in Höhe von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird in der Gesamtgruppe für m/p-Kresol in 5,2 % der Messungen überschritten. In der Gruppe „Geruch ja“ liegt der Anteil dagegen bei 26,1 % und in der Gruppe „Geruch nein“ nur bei 0,5 %. Die Geruchsleitwerte für o-Kresol wurden insgesamt seltener überschritten: Der vGLW I mit 2,1 % am häufigsten in der Gruppe „Geruch ja“, der vGLW II nur in der Gesamtgruppe mit 0,2 %. In der Gruppe „Geruch nein“ wurden keine Geruchsleitwertüberschreitungen gemessen.

In über 10 % der Messungen wurden die vGLW I für Nonanal und Essigsäure überschritten. Auch hier lagen die meisten vGLW I-Überschreitungen in der Gruppe „Geruch ja“ vor. Der Geruchsleitwert II wurde nicht überschritten. Für Essigsäure wurde der Geruchsleitwert II selten und nur in der Gesamtgruppe in 0,4 % der Messungen überschritten.

Für Benzothiazol lag der Anteil an Messwerten oberhalb des vGLW I in der Gesamtgruppe bei 3,6 %, in der Gruppe „Geruch ja“ bei 5,5 % und in der Gruppe „Geruch nein“ bei 2,5 %. VGLW II-Überschreitungen wurde nur noch in der Gesamtgruppe gemessen.

Für Butylacetat war der Anteil an Messwerten oberhalb des vGLW I in der Gesamtgruppe mit 6,5 %, am höchsten. In der Gruppe „Geruch ja“ lag er bei 4,0 % und in der Gruppe „Geruch nein“ bei 1,8 %. VGLW II-Überschreitungen wurde der Gesamtgruppe in 0,7 % der Fälle und in der Gruppe „Geruch nein“ in 0,2 % der Fälle gemessen.

Für Toluol war der Anteil an vGLW I-Überschreitungen in der Gruppe „Geruch nein“ mit 0,5 % am höchsten.

vGLW II-Überschreitungen waren insgesamt selten. Aufgrund der niedrigen Geruchsschwellenwerte für viele Aldehyde und des häufigen Vorkommens der Aldehyde in Innenräumen wurden hier die meisten Überschreitungen festgestellt. Für einige Geruchsstoffe wurde in der Gruppe „Geruch ja“ der vGLW I am häufigsten überschritten. Für Hexanal, Decanal, Pentandial, 1-Butanol, Phenol, TXIB, 1,4-Diethylbenzol, α -Pinen, Limonen, Propansäure, Butansäure und Octansäure lagen mehr vGLW I-Überschreitungen in der Gesamtgruppe vor.

Für 1-Hexanol, 1-Octanol, Ethylacetat, n-Butylbenzol und b-Pinen lagen keine Geruchsleitwertüberschreitungen vor.

Tabelle 3 Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der zeigt die Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gesamtgruppe VOC DB I und VOC DB II.

Die Tabelle 4 Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gruppe und die Tabelle 5 Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gruppe zeigen die Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in den Teilgruppen Geruch ja und Geruch nein. In der Tabelle 7 Unterkategorien der Kategorie „Fußboden gesamt“. sind die prozentualen Geruchsleitwertüberschreitungen für Einzelstoffe der drei Gruppen vergleichend dargestellt.

Tabelle 3: Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gesamtgruppe DB 1 und 2.

n<BG = Anzahl der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze, n>BG = Anzahl der Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze, %>BG = prozentualer Anteil Messungen über der Bestimmungsgrenze, n>GLW I/II = Anzahl der Messwerte über Geruchsleitwert I bzw. II, n≤GLW I/II = Anzahl der Messwerte kleiner oder gleich GLW I bzw. II.

| Geruchsstoff | CAS-Nr. | N | n<BG | n>BG | %>BG | GLWI µg/m ³ | n>GLWI | n≤GLWI | %>GLWI | GLWII µg/m ³ | n>GLWII | n≤GLWII | %>GLWII |
|---------------|-------------------|------|------|------|------|---------------------------|--------|--------|--------|----------------------------|---------|---------|---------|
| Ethanal | 75-07-0 | 1208 | 34 | 1174 | 97,2 | 20 | 622 | 586 | 51,5 | 100 | 23 | 1185 | 1,9 |
| Butanal | 123-72-8 | 4695 | 1382 | 3313 | 70,6 | 8 | 679 | 4016 | 14,5 | 70 | 18 | 4677 | 0,4 |
| Pentanal | 110-62-3 | 6000 | 693 | 5307 | 88,5 | 9 | 1627 | 4373 | 27,1 | 70 | 79 | 5921 | 1,3 |
| Hexanal | 66-25-1 | 6048 | 230 | 5818 | 96,2 | 8 | 3779 | 2269 | 62,5 | 70 | 503 | 5545 | 8,3 |
| Heptanal | 111-71-7 | 5746 | 1588 | 4158 | 72,4 | 5 | 891 | 4855 | 15,5 | 40 | 11 | 5735 | 0,2 |
| Octanal | 127-13-0 | 5735 | 1226 | 4509 | 78,6 | 5 | 1217 | 4518 | 21,2 | 40 | 19 | 5716 | 0,3 |
| Nonanal | 124-19-6 | 5951 | 675 | 5276 | 88,7 | 20 | 574 | 5377 | 9,6 | 150 | 1 | 5950 | 0,0 |
| Decanal | 112-31-2 | 5678 | 2249 | 3429 | 60,4 | 20 | 67 | 5611 | 1,2 | 100 | 4 | 5674 | 0,1 |
| Pentandial | 111-30-8 | 1017 | 1016 | 1 | 0,1 | 6 | 1 | 1016 | 0,1 | 50 | 0 | 1017 | 0,0 |
| 1-Butanol | 71-36-3 | 5845 | 615 | 5230 | 89,5 | 100 | 127 | 5718 | 2,2 | 800 | 3 | 5842 | 0,1 |
| 1-Hexanol | 111-27-3 | 2900 | 2349 | 551 | 19,0 | 200 | 0 | 2900 | 0,0 | 1.400 | 0 | 2900 | 0,0 |
| 1-Octanol | 111-87-5 | 2405 | 2089 | 316 | 13,1 | 100 | 0 | 2405 | 0,0 | 1.000 | 0 | 2405 | 0,0 |
| Ethylacetat | 141-78-6 | 6012 | 1121 | 4891 | 81,4 | 5.000 | 1 | 6011 | 0,0 | 43.000 | 0 | 6012 | 0,0 |
| n-Butylacetat | 123-86-4 | 5972 | 1355 | 4617 | 77,3 | 60 | 390 | 5582 | 6,5 | 500 | 39 | 5933 | 0,7 |
| Phenol | 108-95-2 | 4110 | 2037 | 2073 | 50,4 | 100 | 4 | 4106 | 0,1 | 1.000 | 0 | 4110 | 0,0 |
| o-Kresol | 95-48-7 | 543 | 450 | 93 | 17,1 | 8 | 2 | 541 | 0,4 | 60 | 1 | 542 | 0,2 |
| m-/p-Kresol | 108-39-4/106-44-5 | 484 | 356 | 128 | 26,4 | 1 | 25 | 459 | 5,2 | 10 | 6 | 478 | 1,2 |

| Geruchsstoff | CAS-Nr. | N | n<BG | n>BG | %>BG | GLWI µg/m³ | n>GLWI | n≤GLWI | %>GLWI | GLWII µg/m³ | n>GLWII | n≤GLWII | %>GLWII |
|------------------------------|-----------|------|------|------|------|---------------|--------|--------|--------|----------------|---------|---------|---------|
| TXIB | 6846-50-0 | 5091 | 3016 | 2075 | 40,8 | 80 | 24 | 5067 | 0,5 | 700 | 0 | 5091 | 0,0 |
| Toluol | 108-88-3 | 6070 | 226 | 5844 | 96,3 | 2.000 | 5 | 6065 | 0,1 | 14.000 | 0 | 6070 | 0,0 |
| Ethylbenzol | 100-41-4 | 6052 | 1191 | 4861 | 80,3 | 200 | 16 | 6036 | 0,3 | 1.000 | 2 | 6050 | 0,0 |
| 1,4 Diethylbenzol | 105-05-5 | 214 | 194 | 20 | 9,3 | 10 | 1 | 213 | 0,5 | 100 | 0 | 214 | 0,0 |
| n-Butylbenzol | 104-51-8 | 3578 | 3236 | 342 | 9,6 | 100 | 0 | 3578 | 0,0 | 700 | 0 | 3578 | 0,0 |
| α-Pinen | 80-56-8 | 5991 | 639 | 5352 | 89,3 | 600 | 41 | 5950 | 0,7 | 5.000 | 1 | 5990 | 0,0 |
| β-Pinen | 127-91-3 | 5960 | 2641 | 3319 | 55,7 | 1.000 | 0 | 5960 | 0,0 | 9.000 | 0 | 5960 | 0,0 |
| Limonen | 138-86-3 | 6047 | 646 | 5401 | 89,3 | 500 | 14 | 6033 | 0,2 | 4.000 | 0 | 6047 | 0,0 |
| Ethansäure | 64-19-7 | 2241 | 282 | 1959 | 87,4 | 80 | 285 | 1956 | 12,7 | 600 | 8 | 2233 | 0,4 |
| Propansäure | 79-09-4 | 1778 | 713 | 1065 | 59,9 | 100 | 4 | 1774 | 0,2 | 1.000 | 0 | 1778 | 0,0 |
| Butansäure | 107-92-6 | 2270 | 1511 | 759 | 33,4 | 6 | 21 | 2249 | 0,9 | 50 | 0 | 2270 | 0,0 |
| Hexansäure | 142-61-1 | 2327 | 1038 | 1289 | 55,4 | 30 | 22 | 2305 | 0,9 | 200 | 0 | 2327 | 0,0 |
| Octansäure | 124-07-2 | 2265 | 1462 | 803 | 35,5 | 30 | 3 | 2262 | 0,1 | 200 | 0 | 2265 | 0,0 |
| Benzothiazol | 95-16-9 | 2931 | 2511 | 420 | 14,3 | 4 | 106 | 2825 | 3,6 | 30 | 18 | 2913 | 0,6 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Tabelle 4: Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gruppe Geruch ja.

%>BG = Anteil Messungen über der Bestimmungsgrenze, n>vGLW I/II = Anzahl der Messwerte über Geruchsleitwert I bzw. II, n≤GLW I/II = Anzahl der Messwerte kleiner oder gleich Geruchsleitwert I bzw. II.

| Geruchsstoff | CAS-Nr. | N | n<BG | n>BG | % >BG | GLW I µg/m ³ | n>GLW I | n≤GLW I | %>GLW I | GLW II µg/m ³ | n>GLW II | n≤GLW II | %>GLW II |
|---------------|-------------------|-----|------|------|-------|----------------------------|------------|------------|------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ethanal | 75-07-0 | 250 | 3 | 247 | 98,8 | 20 | 149 | 101 | 59,6 | 100 | 5 | 245 | 2,0 |
| Butanal | 123-72-8 | 558 | 94 | 464 | 83,2 | 8 | 131 | 427 | 23,5 | 70 | 3 | 555 | 0,5 |
| Pentanal | 110-62-3 | 557 | 60 | 497 | 89,2 | 9 | 158 | 399 | 28,4 | 70 | 6 | 551 | 1,1 |
| Hexanal | 66-25-1 | 562 | 28 | 534 | 95,0 | 8 | 345 | 217 | 61,4 | 70 | 63 | 499 | 11,2 |
| Heptanal | 111-71-7 | 548 | 91 | 457 | 83,4 | 5 | 111 | 437 | 20,3 | 40 | 5 | 543 | 0,9 |
| Octanal | 127-13-0 | 548 | 111 | 437 | 79,7 | 5 | 132 | 416 | 24,1 | 40 | 4 | 544 | 0,7 |
| Nonanal | 124-19-6 | 548 | 40 | 508 | 92,7 | 20 | 78 | 470 | 14,2 | 150 | 0 | 548 | 0,0 |
| Decanal | 112-31-2 | 544 | 174 | 370 | 68,0 | 20 | 3 | 541 | 0,6 | 100 | 0 | 544 | 0,0 |
| Pentandial | 111-30-8 | 29 | 29 | 0 | 0,0 | 6 | 0 | 29 | 0,0 | 50 | 0 | 29 | 0,0 |
| 1-Butanol | 71-36-3 | 529 | 27 | 502 | 94,9 | 100 | 6 | 523 | 1,1 | 800 | 0 | 529 | 0,0 |
| 1-Hexanol | 111-27-3 | 221 | 140 | 81 | 36,7 | 200 | 0 | 221 | 0,0 | 1.400 | 0 | 221 | 0,0 |
| 1-Octanol | 111-87-5 | 235 | 178 | 57 | 24,3 | 100 | 0 | 235 | 0,0 | 1.000 | 0 | 235 | 0,0 |
| Ethylacetat | 141-78-6 | 542 | 75 | 467 | 86,2 | 5.000 | 0 | 542 | 0,0 | 43.000 | 0 | 542 | 0,0 |
| n-Butylacetat | 123-86-4 | 530 | 100 | 430 | 81,1 | 60 | 21 | 509 | 4,0 | 500 | 1 | 529 | 0,2 |
| Phenol | 108-95-2 | 231 | 100 | 131 | 56,7 | 100 | 0 | 231 | 0,0 | 1.000 | 0 | 231 | 0,0 |
| o-Kresol | 95-48-7 | 48 | 18 | 30 | 62,5 | 8 | 1 | 47 | 2,1 | 60 | 0 | 48 | 0,0 |
| m-/p-Kresol | 108-39-4/106-44-5 | 46 | 3 | 43 | 93,5 | 1 | 12 | 34 | 26,1 | 10 | 3 | 43 | 6,5 |

| Geruchsstoff | CAS-Nr. | N | n<BG | n>BG | % >BG | GLW I µg/m ³ | n>GLW I | n≤GLW I | %>GLW I | GLW II µg/m ³ | n>GLW II | n≤GLW II | %>GLW II |
|--------------------------|-----------|-----|------|------|-------|----------------------------|------------|------------|------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| TXIB | 6846-50-0 | 527 | 274 | 253 | 48,0 | 80 | 2 | 525 | 0,4 | 700 | 0 | 527 | 0,0 |
| Toluol | 108-88-3 | 549 | 24 | 525 | 95,6 | 2.000 | 0 | 549 | 0,0 | 14.000 | 0 | 549 | 0,0 |
| Ethylbenzol | 100-41-4 | 543 | 125 | 418 | 77,0 | 200 | 3 | 540 | 0,6 | 1.000 | 0 | 543 | 0,0 |
| 1,4 Diethylbenzol | 105-05-5 | 59 | 51 | 8 | 13,6 | 10 | 0 | 59 | 0,0 | 100 | 0 | 59 | 0,0 |
| n-Butylbenzol | 104-51-8 | 179 | 167 | 12 | 6,7 | 100 | 0 | 179 | 0,0 | 700 | 0 | 179 | 0,0 |
| α-Pinen | 80-56-8 | 528 | 43 | 485 | 91,9 | 600 | 3 | 525 | 0,6 | 5.000 | 0 | 528 | 0,0 |
| β-Pinen | 127-91-3 | 526 | 201 | 325 | 61,8 | 1.000 | 0 | 526 | 0,0 | 9.000 | 0 | 526 | 0,0 |
| Limonen | 138-86-3 | 540 | 41 | 499 | 92,4 | 500 | 0 | 540 | 0,0 | 4.000 | 0 | 540 | 0,0 |
| Ethansäure | 64-19-7 | 198 | 12 | 186 | 93,9 | 80 | 31 | 167 | 15,7 | 600 | 0 | 198 | 0,0 |
| Propansäure | 79-09-4 | 184 | 28 | 156 | 84,8 | 100 | 0 | 184 | 0,0 | 1.000 | 0 | 184 | 0,0 |
| Butansäure | 107-92-6 | 196 | 101 | 95 | 48,5 | 6 | 0 | 196 | 0,0 | 50 | 0 | 196 | 0,0 |
| Hexansäure | 142-61-1 | 195 | 71 | 124 | 63,6 | 30 | 3 | 192 | 1,5 | 200 | 0 | 195 | 0,0 |
| Octansäure | 124-07-2 | 192 | 114 | 78 | 40,6 | 30 | 0 | 192 | 0,0 | 200 | 0 | 192 | 0,0 |
| Benzothiazol | 95-16-9 | 508 | 426 | 82 | 16,1 | 4 | 28 | 480 | 5,5 | 30 | 0 | 508 | 0,0 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Tabelle 5: Anzahl der Geruchsleitwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe in der Gruppe Geruch nein.

%>BG = Anteil Messungen über der Bestimmungsgrenze, n>vGLWI/II = Anzahl der Messwerte über Geruchsleitwert I bzw. II, n≤GLWI/II = Anzahl der Messwerte kleiner oder gleich Geruchsleitwert I bzw. II.

| Geruchsstoff | CAS-Nr. | N | n<BG | n>BG | % >BG | GLW I µg/m ³ | n>GLW I | n≤GLW I | %>GLW I | GLW II µg/m ³ | n>GLW II | n≤GLW II | %>GLW II |
|---------------|-------------------|-----|------|------|-------|----------------------------|---------|---------|---------|-----------------------------|----------|----------|----------|
| Ethanal | 75-07-0 | 182 | 1 | 181 | 99,5 | 20 | 73 | 109 | 40,1 | 100 | 0 | 182 | 0,0 |
| Butanal | 123-72-8 | 428 | 102 | 326 | 76,2 | 8 | 61 | 367 | 14,3 | 70 | 1 | 427 | 0,2 |
| Pentanal | 110-62-3 | 624 | 82 | 542 | 86,9 | 9 | 100 | 524 | 16,0 | 70 | 4 | 620 | 0,6 |
| Hexanal | 66-25-1 | 633 | 24 | 609 | 96,2 | 8 | 304 | 329 | 48,0 | 70 | 26 | 607 | 4,1 |
| Heptanal | 111-71-7 | 626 | 196 | 430 | 68,7 | 5 | 47 | 579 | 7,5 | 40 | 0 | 626 | 0,0 |
| Octanal | 127-13-0 | 625 | 430 | 195 | 31,2 | 5 | 113 | 512 | 18,1 | 40 | 2 | 623 | 0,3 |
| Nonanal | 124-19-6 | 626 | 90 | 536 | 85,6 | 20 | 52 | 574 | 8,3 | 150 | 0 | 626 | 0,0 |
| Decanal | 112-31-2 | 623 | 200 | 423 | 67,9 | 20 | 7 | 616 | 1,1 | 100 | 0 | 623 | 0,0 |
| Pentandial | 111-30-8 | 254 | 253 | 1 | 0,4 | 6 | 1 | 253 | 0,4 | 50 | 0 | 254 | 0,0 |
| 1-Butanol | 71-36-3 | 615 | 74 | 541 | 88,0 | 100 | 4 | 611 | 0,7 | 800 | 0 | 615 | 0,0 |
| 1-Hexanol | 111-27-3 | 372 | 307 | 65 | 17,5 | 200 | 0 | 372 | 0,0 | 1.400 | 0 | 372 | 0,0 |
| 1-Octanol | 111-87-5 | 368 | 309 | 59 | 16,0 | 100 | 0 | 368 | 0,0 | 1.000 | 0 | 368 | 0,0 |
| Ethylacetat | 141-78-6 | 622 | 89 | 533 | 85,7 | 5.000 | 0 | 622 | 0,0 | 43.000 | 0 | 622 | 0,0 |
| n-Butylacetat | 123-86-4 | 611 | 187 | 424 | 69,4 | 60 | 11 | 600 | 1,8 | 500 | 0 | 611 | 0,0 |
| Phenol | 108-95-2 | 368 | 149 | 219 | 59,5 | 100 | 0 | 368 | 0,0 | 1.000 | 0 | 368 | 0,0 |
| o-Kresol | 95-48-7 | 220 | 198 | 22 | 10,0 | 8 | 0 | 220 | 0,0 | 60 | 0 | 220 | 0,0 |
| m-/p-Kresol | 108-39-4/106-44-5 | 220 | 188 | 32 | 14,5 | 1 | 1 | 219 | 0,5 | 10 | 0 | 220 | 0,0 |

| Geruchsstoff | CAS-Nr. | N | n<BG | n>BG | % >BG | GLW I µg/m ³ | n>GLW I | n≤GLW I | %>GLW I | GLW II µg/m ³ | n>GLW II | n≤GLW II | %>GLW II |
|--------------------------|-----------|-----|------|------|-------|----------------------------|---------|---------|---------|-----------------------------|----------|----------|----------|
| TXIB | 6846-50-0 | 410 | 222 | 188 | 45,9 | 80 | 2 | 408 | 0,5 | 700 | 0 | 410 | 0,0 |
| Toluol | 108-88-3 | 630 | 37 | 593 | 94,1 | 2.000 | 3 | 627 | 0,5 | 14.000 | 0 | 630 | 0,0 |
| Ethylbenzol | 100-41-4 | 620 | 227 | 393 | 63,4 | 200 | 0 | 620 | 0,0 | 1.000 | 0 | 620 | 0,0 |
| 1,4 Diethylbenzol | 105-05-5 | 59 | 53 | 6 | 10,2 | 10 | 0 | 59 | 0,0 | 100 | 0 | 59 | 0,0 |
| n-Butylbenzol | 104-51-8 | 318 | 302 | 16 | 5,0 | 100 | 0 | 318 | 0,0 | 700 | 0 | 318 | 0,0 |
| α-Pinen | 80-56-8 | 616 | 104 | 512 | 83,1 | 600 | 1 | 615 | 0,2 | 5.000 | 0 | 616 | 0,0 |
| β-Pinen | 127-91-3 | 613 | 325 | 288 | 47,0 | 1.000 | 0 | 613 | 0,0 | 9.000 | 0 | 613 | 0,0 |
| Limonen | 138-86-3 | 622 | 72 | 550 | 88,4 | 500 | 0 | 622 | 0,0 | 4.000 | 0 | 622 | 0,0 |
| Ethansäure | 64-19-7 | 359 | 81 | 278 | 77,4 | 80 | 24 | 335 | 6,7 | 600 | 0 | 359 | 0,0 |
| Propansäure | 79-09-4 | 358 | 157 | 201 | 56,1 | 100 | 0 | 358 | 0,0 | 1.000 | 0 | 358 | 0,0 |
| Butansäure | 107-92-6 | 355 | 297 | 58 | 16,3 | 6 | 1 | 354 | 0,3 | 50 | 0 | 355 | 0,0 |
| Hexansäure | 142-61-1 | 356 | 222 | 134 | 37,6 | 30 | 2 | 354 | 0,6 | 200 | 0 | 356 | 0,0 |
| Octansäure | 124-07-2 | 354 | 281 | 73 | 20,6 | 30 | 0 | 354 | 0,0 | 200 | 0 | 354 | 0,0 |
| Benzothiazol | 95-16-9 | 474 | 393 | 81 | 17,1 | 4 | 12 | 462 | 2,5 | 30 | 0 | 474 | 0,0 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Tabelle 6: Häufigkeit der Geruchsleitwertüberschreitungen für Einzelstoffe im Vergleich.

%>BG = Anteil Messungen über der Bestimmungsgrenze, %>vGLW I/II = prozentualer Anteil der Messwerte über Geruchsleitwert I bzw. II.

| Geruchsstoff | CAS-Nr. | Gesamt %>GLW I | Geruch ja %>GLW I | Geruch nein %>GLW I | Gesamt %>GLW II | Geruch ja %>GLW II | Geruch nein %>GLW II |
|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|
| Ethanal | 75-07-0 | 51,5 | 59,6 | | 1,9 | 2,0 | 0,0 |
| Butanal | 123-72-8 | 14,5 | 23,5 | 14,3 | 0,4 | 0,5 | 0,2 |
| Pentanal | 110-62-3 | 27,1 | 28,4 | 16,0 | 1,3 | 1,1 | 0,6 |
| Hexanal | 66-25-1 | 62,5 | 61,4 | 48,0 | 8,3 | 11,2 | 4,1 |
| Heptanal | 111-71-7 | 15,5 | 20,3 | 7,5 | 0,2 | 0,9 | 0,0 |
| Octanal | 127-13-0 | 21,2 | 24,1 | 18,1 | 0,3 | 0,7 | 0,3 |
| Nonanal | 124-19-6 | 9,6 | 14,2 | 8,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Decanal | 112-31-2 | 1,2 | 0,6 | 1,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| Pentandial | 111-30-8 | 0,1 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-Butanol | 71-36-3 | 2,2 | 1,1 | 0,7 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 1-Hexanol | 111-27-3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-Octanol | 111-87-5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ethylacetat | 141-78-6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| n-Butylacetat | 123-86-4 | 6,5 | 4,0 | 1,8 | 0,7 | 0,2 | 0,0 |
| Phenol | 108-95-2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| o-Kresol | 95-48-7 | 0,4 | 2,1 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| m-/p-Kresol | 108-39-4/106-44-5 | 5,2 | 26,1 | 0,5 | 1,2 | 6,5 | 0,0 |
| TXIB | 6846-50-0 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

| Geruchsstoff | CAS-Nr. | Gesamt %>GLW I | Geruch ja %>GLW I | Geruch nein %>GLW I | Gesamt %>GLW II | Geruch ja %>GLW II | Geruch nein %>GLW II |
|--------------------------|----------|-------------------|----------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|
| Toluol | 108-88-3 | 0,1 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ethylbenzol | 100-41-4 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1,4 Diethylbenzol | 105-05-5 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| n-Butylbenzol | 104-51-8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| α-Pinen | 80-56-8 | 0,7 | 0,6 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| β-Pinen | 127-91-3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Limonen | 138-86-3 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ethansäure | 64-19-7 | 12,7 | 15,7 | 6,7 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| Propansäure | 79-09-4 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Butansäure | 107-92-6 | 0,9 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Hexansäure | 142-61-1 | 0,9 | 1,5 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Octansäure | 124-07-2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Benzothiazol | 95-16-9 | 3,6 | 5,5 | 2,5 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |

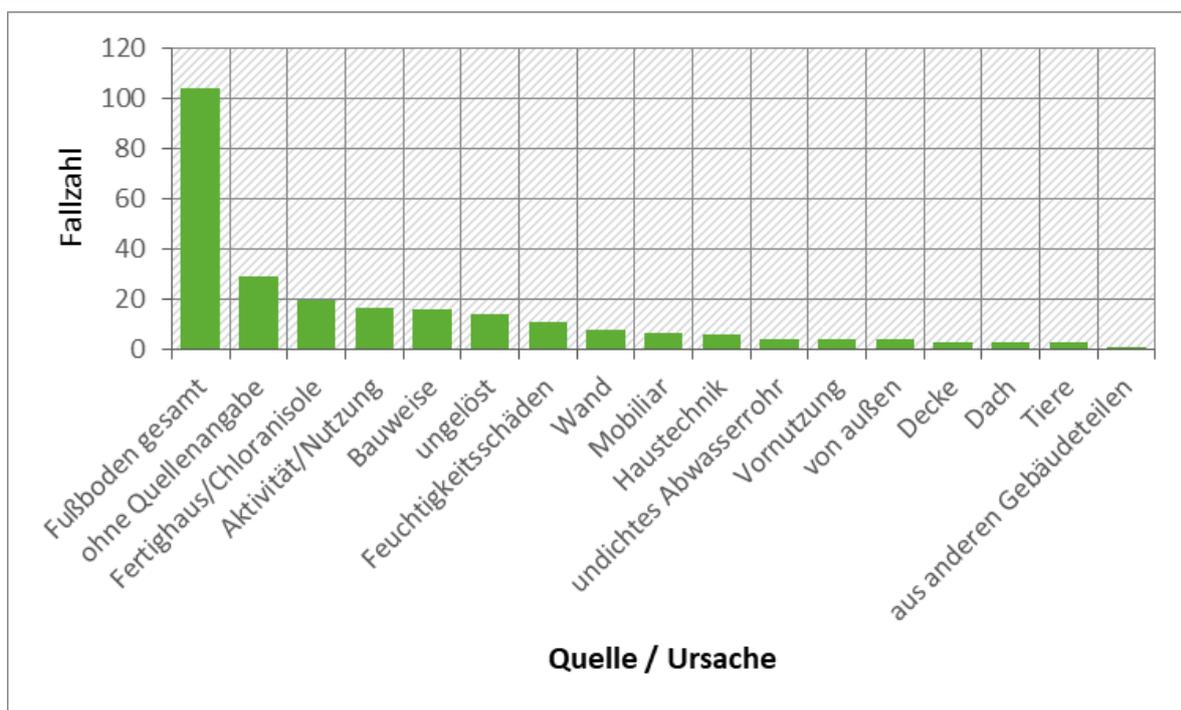
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4 AP 2: Aufnahme von Daten aus geruchsauffälligen Räumen

4.1 Vorerhebung

Die im Zuge der Vorerhebung vorgelegten Fallbeschreibungen wurden systematisch in Bezug auf die Quelle bzw. Ursache der Geruchsbildung ausgewertet, um eine Systematik für Geruchsbeschwerdefälle in Innenräumen zu entwickeln. Für eine Gliederung konnten von den 289 angemeldeten Fällen 254 Fälle mit Angaben zur Quelle ausgewertet werden. Es wurden 56 Unterkategorien aufgestellt, die in 17 Kategorien zusammengefasst wurden. Abbildung 4 zeigt die Auswertung der Fallzahlen für die ermittelten Kategorien.

Abbildung 4: Auswertung der Vorerhebung, Systematisierung der Quelle bzw. Ursache der Geruchsbeschwerde.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Die Auswertung ergab mit 104 Fällen eine deutliche Häufung von Geruchsbeschwerdefällen, bei denen der Fußboden als Quelle angesehen wurde. Die Kategorie „Fußboden gesamt“ stellt eine Zusammenfassung von 16 Unterkategorien dar. Die einzelnen Unterkategorien mit Nennung der Fallzahl sind in der Tabelle 7 Unterkategorien der Kategorie „Fußboden gesamt“ aufgeführt.

Tabelle 7: Unterkategorien der Kategorie „Fußboden gesamt“.

| Unterkategorie | Anzahl |
|------------------------|------------|
| Fußbodenaufbau | 31 |
| FB Teppichboden | 27 |
| FB Linoleum | 3 |
| FB PVC | 2 |
| FB Kautschuk | 7 |
| FB Bodenbeschichtung | 6 |
| FB Parkett | 3 |
| FB Parkettbeschichtung | 4 |
| FB Kork | 1 |
| FB Asphaltfliesen | 3 |
| UB Altbelag | 1 |
| UB Teerprodukt | 10 |
| UB Klebstoff | 2 |
| UB Bitumengrundierung | 1 |
| UB Estrich | 1 |
| UB Dämmung | 0 |
| UB Spanplatte | 2 |
| Σ | 104 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2 Beschreibung der Datenbasis

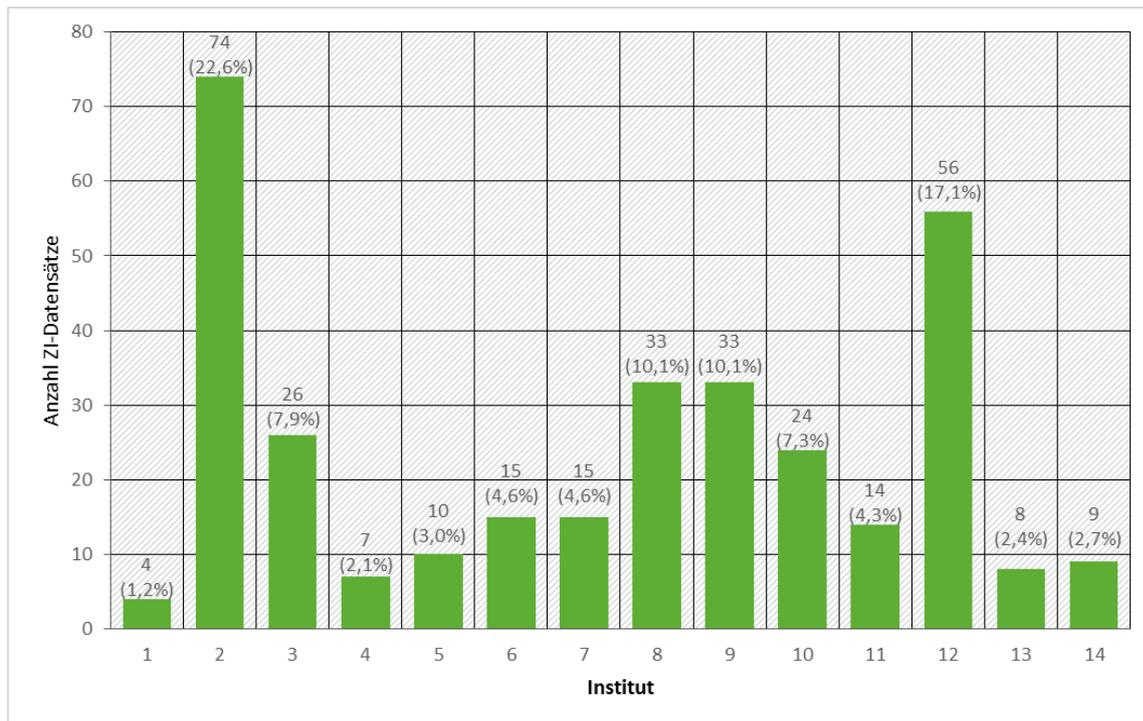
4.2.1 Beteiligte Institute

Es wurden alle 14 an der Vorerhebung mitwirkenden AGÖF-Institute an der Bereitstellung von Daten für dieses Vorhaben beteiligt. Eine Liste der beteiligten Institute findet sich im Anhang A.

Wie bei den vorangegangenen Projekten variiert die Anzahl an Datensätzen pro Institut stark. Die Datenbasis wird - bezogen auf die Anzahl an ZI-Datensätzen pro Institut - von zwei Hauptdatenlieferanten mit 74 und 56 ZI-Datensätzen (Abbildung 5) dominiert. Acht Institute lieferten Datensatzmengen in der Größenordnung 10 bis 33 ZI-Datensätze und vier Institute weniger als 10 ZI-Datensätze. Insgesamt wurden 328 ZI-Datensätze eingepflegt.

Da von einigen AGÖF-Instituten Laborleistungen an Labore vergeben wurden, entspricht die Zahl der beteiligten Institute nicht der Zahl der beteiligten Labore. Insgesamt lieferten sieben AGÖF-Labore und ein externes Labor Messwerte. Die beteiligten Labore sind nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Zudem beteiligen sich die AGÖF Institute an den in der AGÖF regelmäßig angebotenen Laborvergleichsmessungen für die Probenahme und Analytik. Eine Liste der von der AGÖF angebotenen Laborvergleichsmessungen findet sich im Anhang A.

Abbildung 5: Anzahl aller gelieferten ZI-Datensätze pro Institut.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2.2 Zusatzinformationen

Alle Probenahmen, die zu einem Zeitpunkt an einem Ort entnommen wurden, sind mit einem ZI-Datensatz verknüpft. Die Zusatzinformationen (ZI) wurden von den Instituten selbst ausgefüllt und/oder anhand der vorgelegten Falldokumentationen sowie ggfs. auf Nachfrage ergänzt.

Insgesamt konnten Angaben zu 55 Zusatzinformationen in den nachfolgend genannten Rubriken gemacht werden:

- ▶ Auftrag: Ziel, Anlass der Untersuchung,
- ▶ Gebäude: PLZ, Gebäudenutzung, Anzahl Geschosse, Bauweise, Baujahr oder Baualtersklasse,
- ▶ Raum: Raumnutzung, Fußbodenbelag, Decke, Art der Belüftung, Wände und letzte relevante Innenraumrenovierung inkl. Zeitpunkt, Rauchen, Baufeuchte, Schimmel, Möbliert,
- ▶ Geruch: Intensität, Hedonik, Akzeptanz, Geruchsbeschreibung,
- ▶ Probennahme: Datum, Lüftungsbedingungen, Anzahl Personen im Raum,
- ▶ Proben: QS-Verfahren, Raumtemperatur, Luftfeuchte, Probenvolumen, Durchfluss, Luftwechselbestimmung, Probenehmer/-in,
- ▶ Bemerkung,
- ▶ Modernisierung: Art der Modernisierung und das Jahr,
- ▶ weitere Qualitätsmerkmale: Qualitätsmerkmale zum Energiestandard.

Für einige Merkmale konnte die Antwort aus einer vorgegebenen Liste mittels Dropdown-Listefeld ausgewählt werden. Zum Teil waren Mehrfachnennungen möglich. Für die

Beschreibung des Geruchs sowie Bemerkungen zum Datensatz konnten Angaben in Freitextfeldern gemacht werden.

Für das Geruchsprojekt wurde die Einteilung der Zusatzinformationen in Pflichtangaben und optionale Angaben aufgehoben. Bei der Dateneingabe war es somit möglich unvollständige ZI-Eingaben zu speichern und mit Messwerten zu verknüpfen.

Ein Überblick und die Auswertung der Zusatzinformationen erfolgen in den anschließenden Kapiteln.

4.2.2.1 Anlass der Untersuchung

Der hier erfasste Anlass der Untersuchung bezieht sich auf die Veranlassung Raumluftuntersuchungen auf flüchtige organische Verbindungen zu beauftragen.

Für den Anlass der Messung standen die Kategorien: Gerüche, Gesundheitsbeschwerden, Expositionsverdacht, Abnahme sowie Anderer (mit Textfeld zur Konkretisierung) zur Verfügung. Mehrfachnennungen waren möglich. Der Anlass Geruch dominierte aufgrund der Auswahl von Geruchsfällen mit insgesamt 283 Nennungen (Einzelnennungen und Kombinationen). In 167 Fällen wurde ausschließlich der Geruch als Anlass angegeben. Einzelnennungen lagen für Abnahme in 28 Fällen, Expositionsverdacht in 14 Fällen und Gesundheitsbeschwerden in 3 Fällen vor. Bei 116 ZI-Datensätzen wurden mehrere Angaben über den Anlass der Probenahme gemacht. Es wurden bis zu drei Anlässe gleichzeitig angegeben. Tabelle 8 schlüsselt auch die Kombinationen von Anlässen und deren Häufigkeit auf. Die meisten Mehrfachnennungen enthielten Geruch und Gesundheitsbeschwerden als Anlass. Bei den Datensätzen mit den Einzelanlässen Abnahme, Expositionsverdacht und Gesundheitsbeschwerden wurde der Geruchsbezug durch den/die Probennehmer/-in bzw. Gutachter/-in hergestellt. Bei den Abnahmemessungen handelt sich um Messungen in neuen Gebäuden mit Geruchsauffälligkeit oder Probenahmen nach einer Sanierung / Modernisierung im Zusammenhang mit einer Geruchsproblematik.

Tabelle 8: Anzahl der ZI und der Anlässe mit Einfach- und Mehrfachnennungen für die entsprechende Untersuchung.

| Anlass | Anzahl ZI |
|--|------------|
| Gerüche | 167 |
| Gesundheitsbeschwerden | 3 |
| Expositionsverdacht | 14 |
| Abnahme | 28 |
| Gerüche + Gesundheitsbeschwerden | 75 |
| Gerüche + Expositionsverdacht | 37 |
| Gerüche + Gesundheitsbeschwerden + Expositionsverdacht | 4 |
| Σ | 328 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

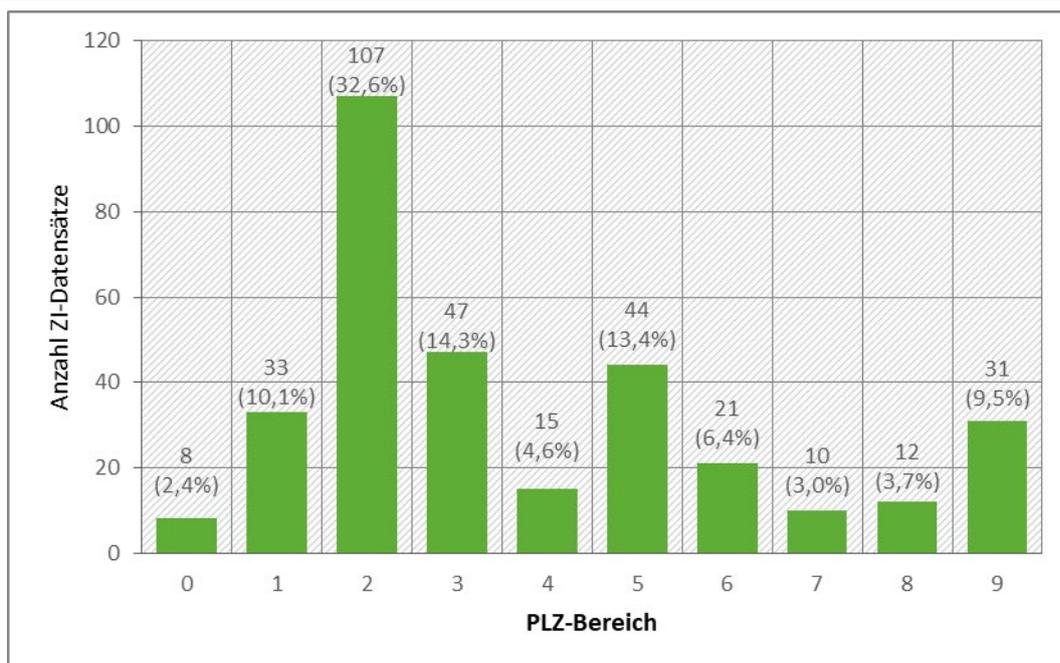
4.2.3 Angaben zum Gebäude

4.2.3.1 Ort (PLZ)

Die Orte der Probenahme verteilen sich sehr ungleichmäßig auf - hier anhand der ersten beiden Ziffern der Postleitzahl erfassten Postleitzahlenbereiche der BRD. Aufgrund der bei Aktivmessungen üblicherweise gegebenen Nähe zum Sitz des probenehmenden Instituts dominieren wie bei den vorhergehenden Datenbankprojekten die PLZ-Bereiche der Institute mit hohen Datensatzanzahlen.

Abbildung 6 zeigt die Verteilung der ZI-Datensätze auf die PLZ-Bereiche. Der Bereich 2 war deutlich überrepräsentiert, gefolgt von den Bereichen 3 und 5. Diese drei PLZ-Bereiche machten über 60 % der ZI-Datensätze aus.

Abbildung 6: Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Postleitzahlenbereich.

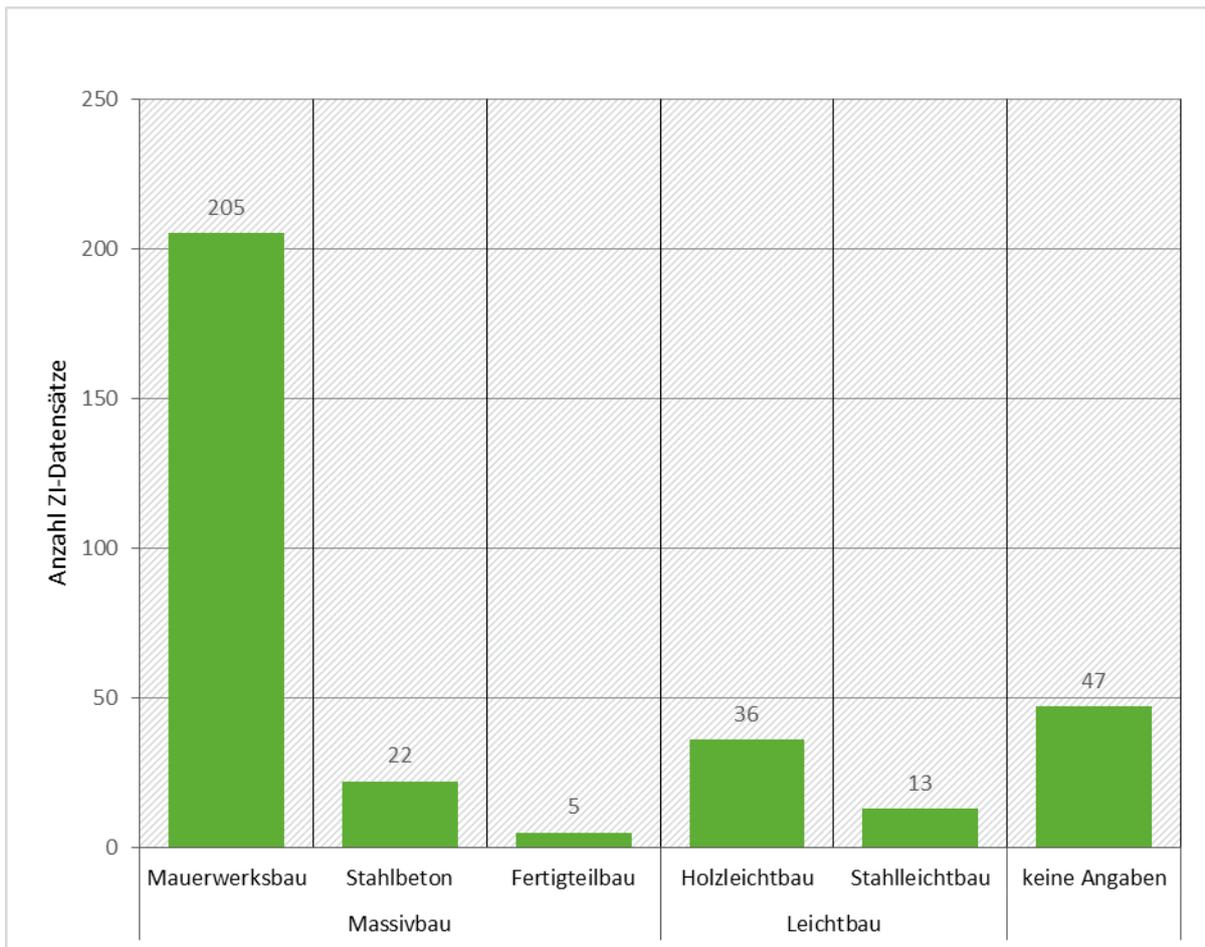


Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2.3.2 Bauweise

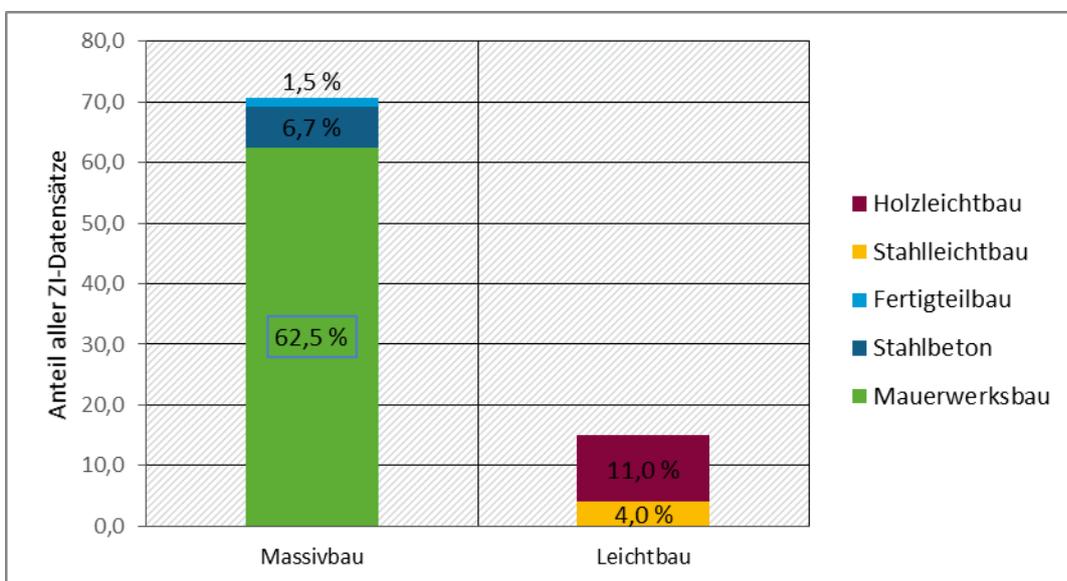
Von den fünf vorgegebenen Kategorien (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8) wurde die Bauweise „Mauerwerksbau“ mit 205 Nennungen am häufigsten genannt. Danach folgten „Holzleichtbau“ mit 36, „Stahlbeton“ mit 22, „Stahlleichtbau“ mit 13 und „Fertigteilebau“ mit 5 Nennungen. Das bedeutet, dass 232 (70 %) Nennungen in die Kategorie Massivbauweise fielen (Mauerwerksbau, Stahlbeton und Fertigteilbau) und 49 (15 %) Nennungen in die Kategorie Leichtbau (Stahlleichtbau, Holztafelbau). In der Kategorie „Stahlleichtbau“ wurden auch „Containeranlagen“ erfasst. Zu 47 ZI-Datensätzen lagen keine Angaben über die Bauweise vor.

Abbildung 7: Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Bauweise.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 8: Prozentuale Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Bauweise bezogen auf die Gesamtzahl von 328 ZI-Datensätzen. Zu 14,3 % der ZI-Datensätze lagen keine Angaben vor.



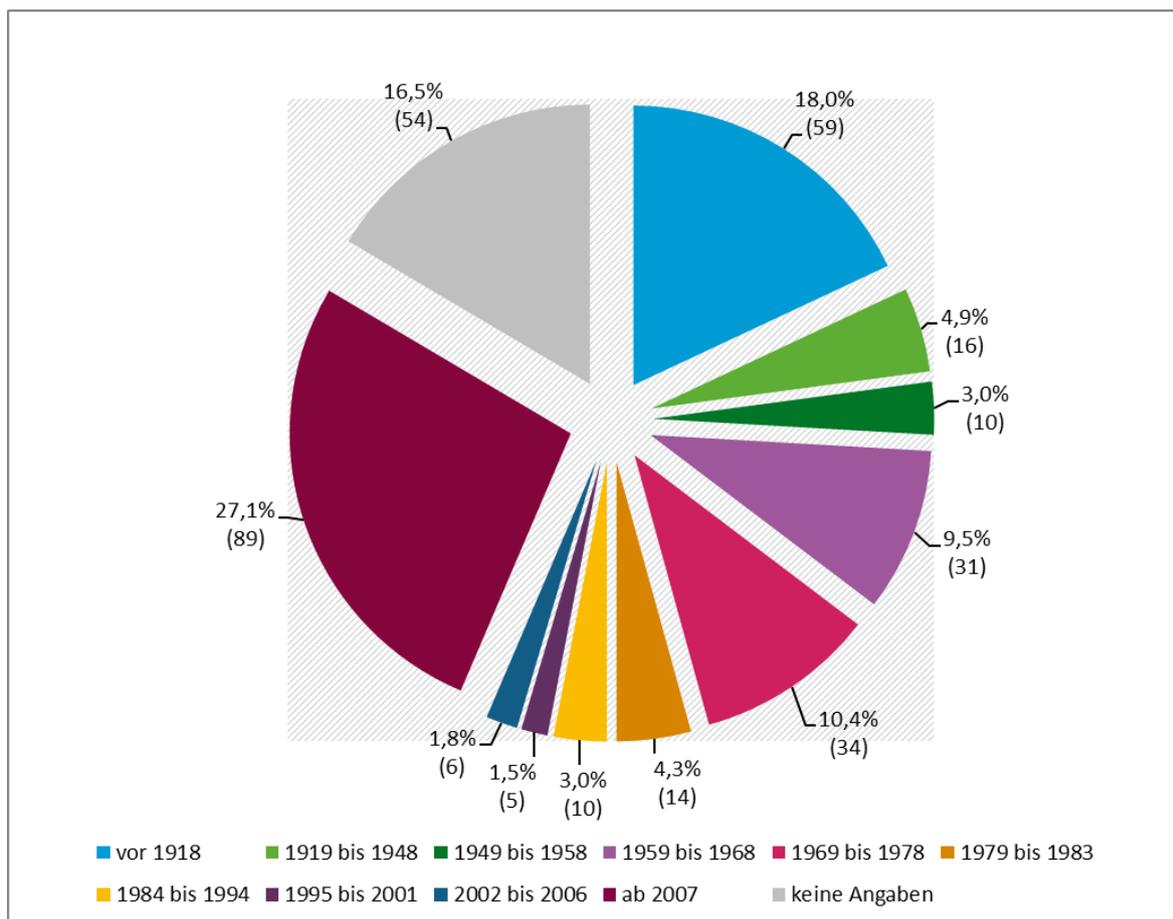
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2.3.3 Baualtersklasse

Die Baualtersklassen wurden auf der Grundlage der energetischen Klassifizierung von Wohngebäuden (siehe hierzu IWU2003) in zehn Zeitabschnitte mit unterschiedlich langen Zeitperioden untergliedert. Die Verteilung der erfassten Gebäude über die Baualtersklassen ist inhomogen (siehe Abbildung 9). Am häufigsten kamen ZI-Datensätze mit der Baualtersklasse ab 2007 (27,1 %) und vor 1918 (18,0 %) vor. Alle anderen Baualtersklassen waren jeweils mit 1,5 % bis 10 % der ZI-Datensätze vertreten. In 54 Fällen (16,5 %) lagen keine Angaben zur Baualtersklasse vor.

Bei insgesamt 31 der 328 ZI-Datensätze wurden Modernisierungen oder Ausbauten von Gebäuden oder Gebäudeteilen vermerkt.

Abbildung 9: Prozentuale Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Altersklasse.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

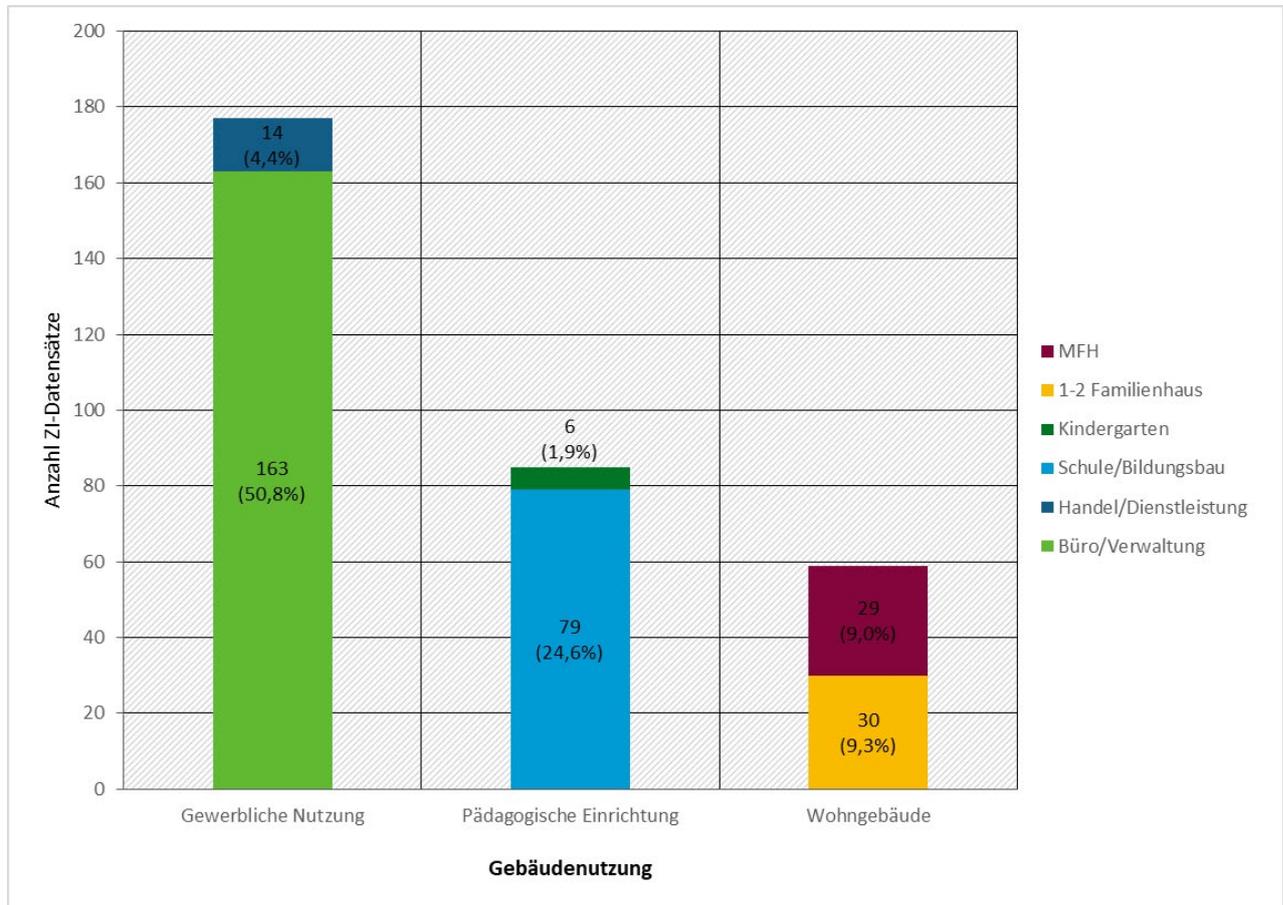
Die Zusammensetzung der Baualtersklassen der VOC DB 3 unterscheidet sich von der VOC DB 2. Die prozentualen Anteile von alten (vor 1918) und neuen (ab 2007) Gebäuden sind in der VOC DB 3 deutlich höher, während die prozentualen Anteile der dazwischenliegenden Baualtersklassen bis auf die Baualtersklasse 1959 bis 1968 niedriger sind.

4.2.3.4 Nutzung

Der dominierende Nutzungstyp in den ZI-Datensätzen war Büro/Verwaltung mit 163 Nennungen, gefolgt von Schulen und Bildungsbauten mit 79 Nennungen, 1-2 Familienhäuser mit 30 Nennungen und Mehrfamilienhäuser mit 29 Nennungen. Alle anderen Nutzungstypen waren nur in geringer Anzahl vertreten. Damit waren die Anteile der ZI-Datensätze zu jeweils 55,2 %

gewerblich genutzte Gebäude, zu 26,5 % pädagogische Einrichtungen und zu 18,3 % Wohngebäude (Abbildung 10). Mehrfachnennungen zur Gebäudenutzung waren möglich. Es wurden aber keine Mehrfachnennungen gemacht.

Abbildung 10: Anzahl der ZI pro Gebäudenutzung mit zusätzlicher Angabe des Anteils an allen ZI-Datensätzen in Klammern.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Bei den ZI-Datensätzen der VOC DB 2 erreichte der Nutzungstyp Wohngebäude einen Anteil von 24,4 %. Pädagogische Einrichtungen waren mit 22,6 % vertreten und der Anteil an Gebäuden mit gewerblicher Nutzung lag bei 34,8 %.

4.2.4 Angaben zum Raum

Insgesamt wurden 281 Räume untersucht. Einige Räume wurden mehrfach untersucht, so dass die Anzahl an ZI-Datensätzen - insgesamt 328 – größer als die Anzahl der untersuchten Räume ist. 251 Räume wurden einmal beprobt, zu ihnen gehörte jeweils ein ZI-Datensatz. Mehrfach beprobt wurden 30 Räume mit einer unterschiedlichen Anzahl an Untersuchungen (siehe Tabelle 9). Die maximale Anzahl von sechs Untersuchungen wies nur ein Raum auf. Die Beschreibung der Raummerkmale bezieht sich auf die Anzahl der ZI-Datensätze und beinhaltet mehrfach beprobte Räume.

Mehrfachmessungen eines Raumes ergeben sich aus Wiederholungsmessungen oder Probenahmen bei verschiedenen Lüftungssituationen.

Tabelle 9 Anzahl der Räume, die ein- oder mehrfach beprobt wurden.

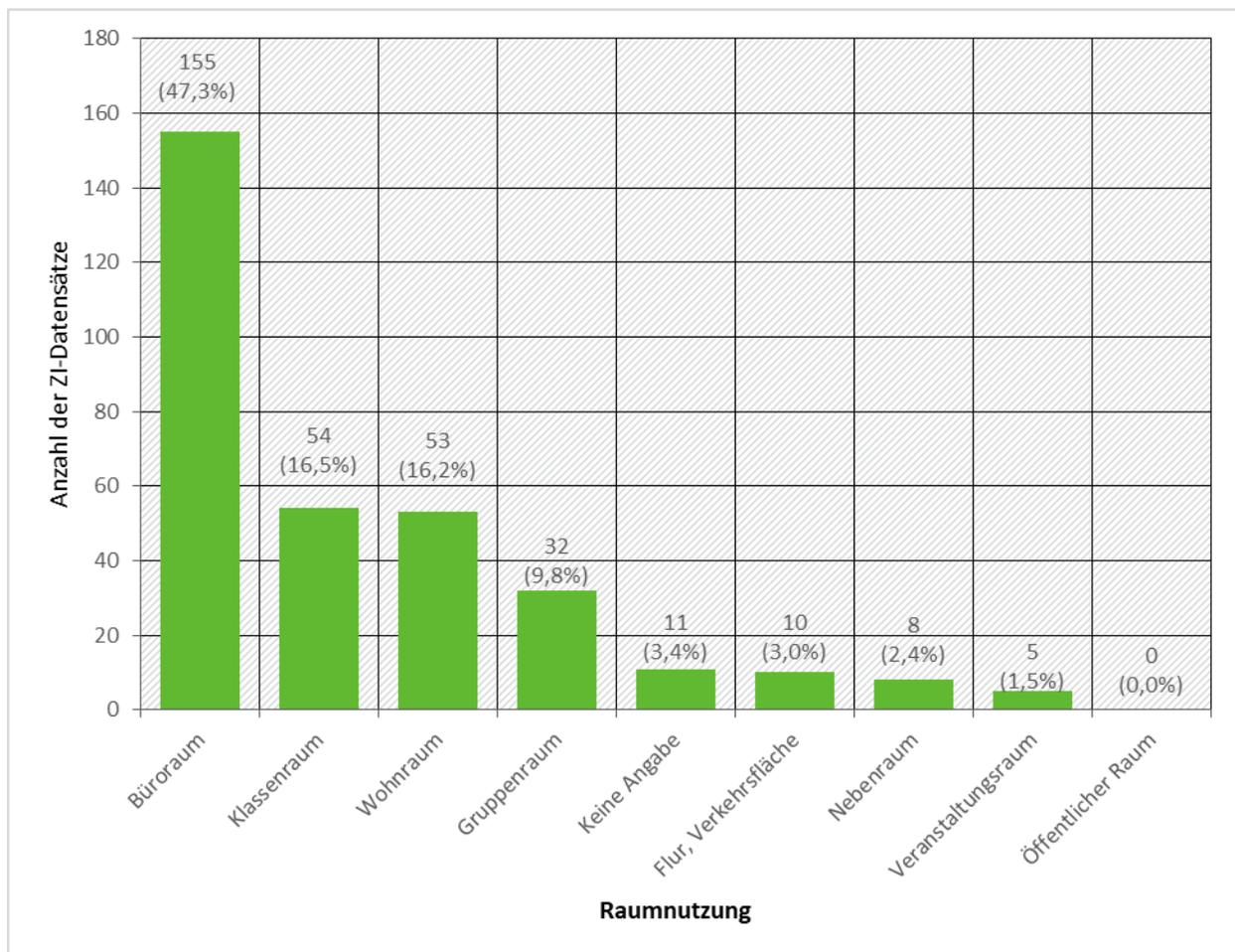
| Anzahl Datensätze | Anzahl Räume |
|-------------------|--------------|
| 1 | 251 |
| 2 | 21 |
| 3 | 4 |
| 4 | 3 |
| 5 | 1 |
| 6 | 1 |
| Σ | 281 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2.4.1 Raumnutzung

Im Textfeld Raumnutzung bestand die Wahl zwischen acht Nutzungstypen (siehe Abbildung 11). Bei den Angaben zur Raumnutzung dominierten Büroräume mit 47% der Nennungen, gefolgt von Klassenräumen und Wohnräumen mit jeweils 16% der Nennungen. Deutlich weniger Nennungen gab es für Gruppenräume, Flure/Verkehrsflächen, Nebenräume und Veranstaltungsräume. Zu 11 Räumen lagen keine Angaben zur Raumnutzung vor.

Abbildung 11: Anzahl der Räume je Nutzungstyp und zusätzliche Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

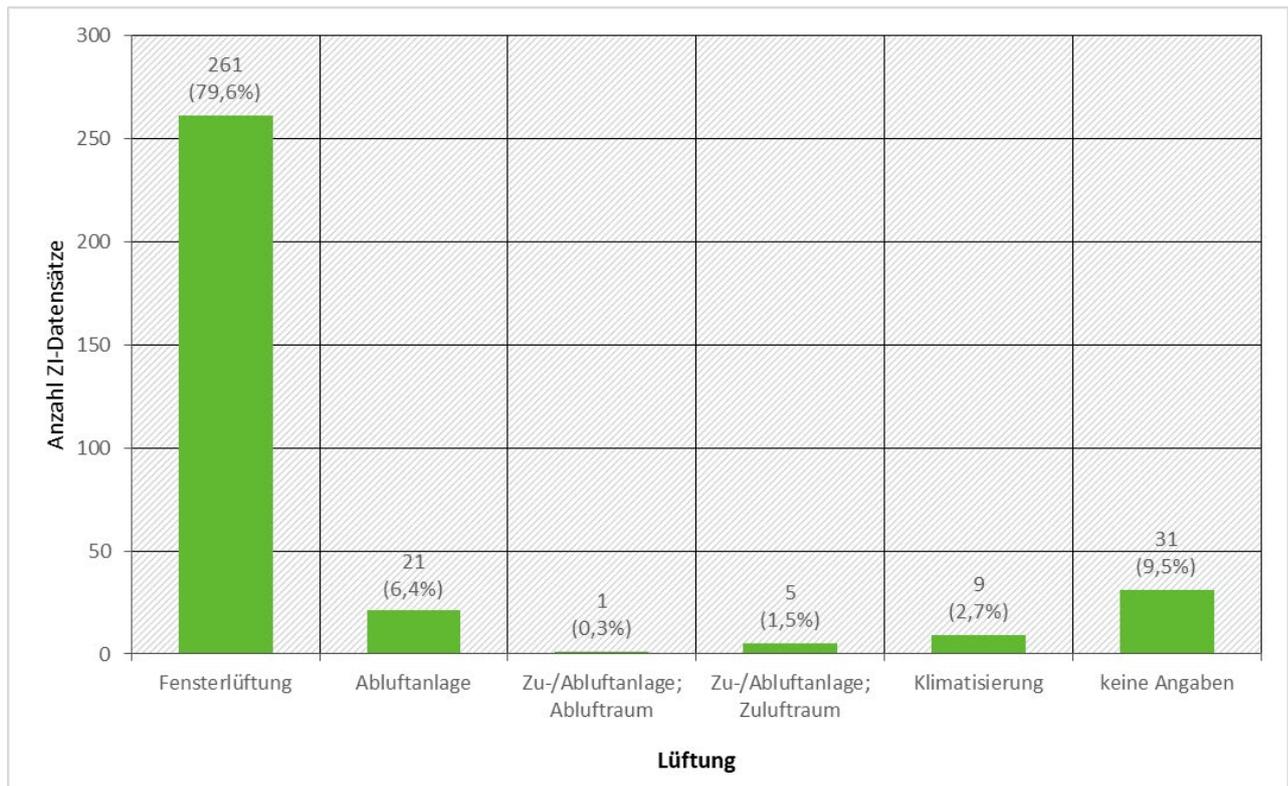
In der VOC DB 2 dominierte die Raumart Büroraum mit 40,2 % der Datensätze vor Wohnraum mit 32,1 % und Klassenraum mit 12,4 %.

4.2.4.2 Belüftung

Sofern es keine raumlufttechnischen Anlagen gab, wurde von Fensterlüftung ausgegangen. Wenn eine mechanische Lüftungsanlage vorhanden war, sollte angegeben werden, ob es sich um eine Abluftanlage oder eine Zu-/Abluftanlage handelte. Die Zu-/Abluftanlagen arbeiten in der Regel mit Wärmerückgewinnung. Weiterhin sollte angegeben werden, ob die Raumlüftung in einem Zu- oder Ablufttraum oder einem Raum mit Zu- und Abluft durchgeführt wurde. Sofern die eingeblasene Luft gekühlt und be-/entfeuchtet wurde, handelte es sich um eine Klimaanlage.

Fensterlüftung war mit 80 % die dominante Belüftungsart in den untersuchten Räumen (Abbildung 12). Nur 8,2 % der Räume verfügten über eine mechanische Lüftungsanlage und 2,7 % der Räume über Klimatisierung.

Abbildung 12: Anzahl der ZI-Datensätze pro Lüftungstyp und zusätzliche Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der ZI-Datensätze in Klammern.



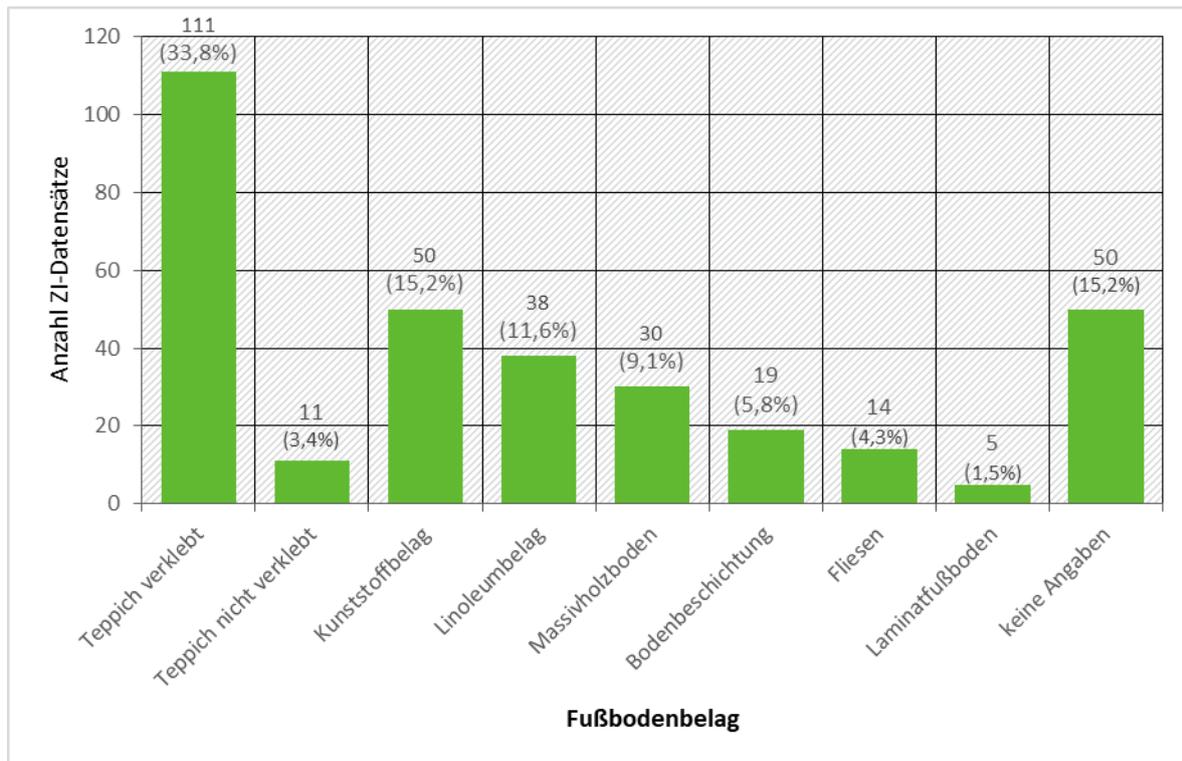
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Der prozentuale Anteil an Räumen mit einer raumluftechnischen Anlage ist in der VOC DB 3 höher als in der VOC DB 2. Der Anteil an Räumen mit einer raumluftechnischen Anlage lag in der VOC DB 2 bei 3,9 %.

4.2.4.3 Fußbodenbelag

Teppichboden war mit 122 Nennungen die dominierende Art des Bodenbelages, der in 111 Fällen verklebt und in 11 Fällen nicht verklebt war (Abbildung 13). Kunststoffbelag wurde in 50 Fällen genannt, Linoleumbelag in 38 Fällen. Bei 30 ZI-Datensätzen war der Fußbodenbelag aus Massivholz, bei 19 Datensätzen wurde eine Bodenbeschichtung angegeben. Fliesen und Laminat waren mit 4 % bzw. 1 % nur in geringen Anteilen vertreten. Zu 15 % der Räume gab es keine Angaben.

Abbildung 13: Anzahl der Räume mit dem jeweiligen Fußbodenbelag und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.



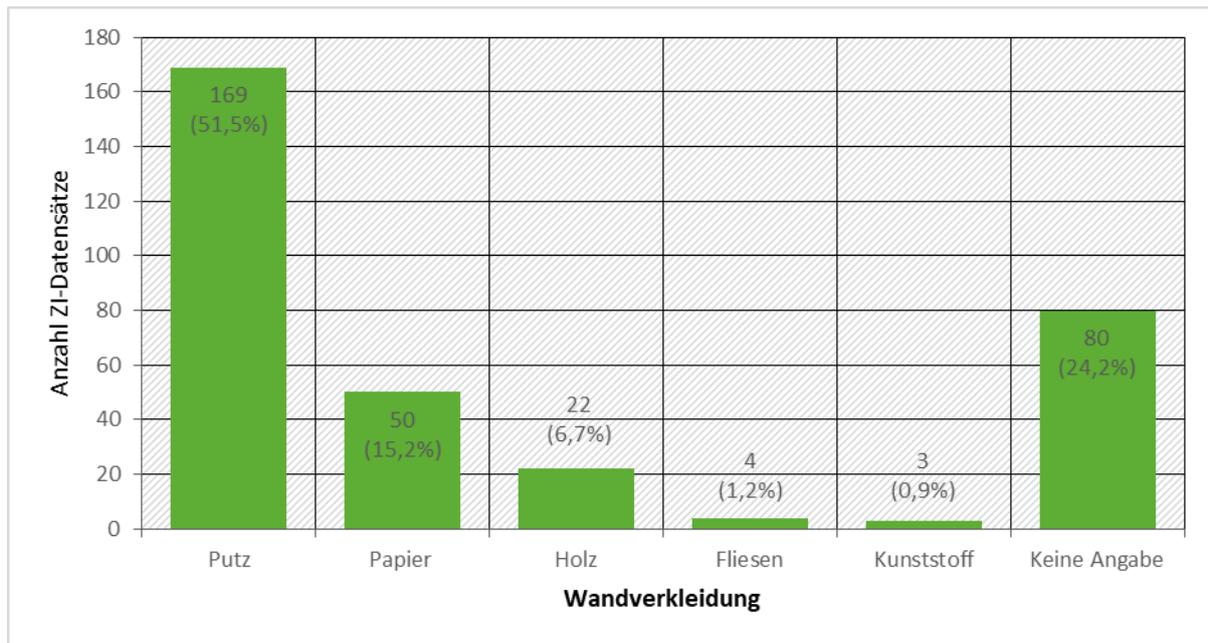
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Bei der Datenerfassung im Rahmen der VOC DB 2 wurde Kunststoffbelag mit 20,2% am häufigsten genannt vor Teppichboden (verklebt) mit 18,2 %. Die prozentualen Anteile der übrigen Bodenbelagsarten (inkl. Teppichboden, nicht verklebt) lagen bei 7,3 bis 0,3 %. Für 34,5 % der Datensätze fehlte die Angabe des Bodenbelags.

4.2.4.4 Wände

Als Wandverkleidung wurde mit 169 Fällen am häufigsten Putz genannt (Abbildung 14). Papiertapeten kamen in 50 ZI-Datensätzen vor und Holzverkleidung in 22 Datensätzen. Sehr selten kamen Kunststofftapeten oder Fliesen vor.

Abbildung 14: Anzahl der ZI-Datensätze mit Angabe der jeweiligen Art der Wandverkleidung und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der ZI-Datensätze in Klammern.

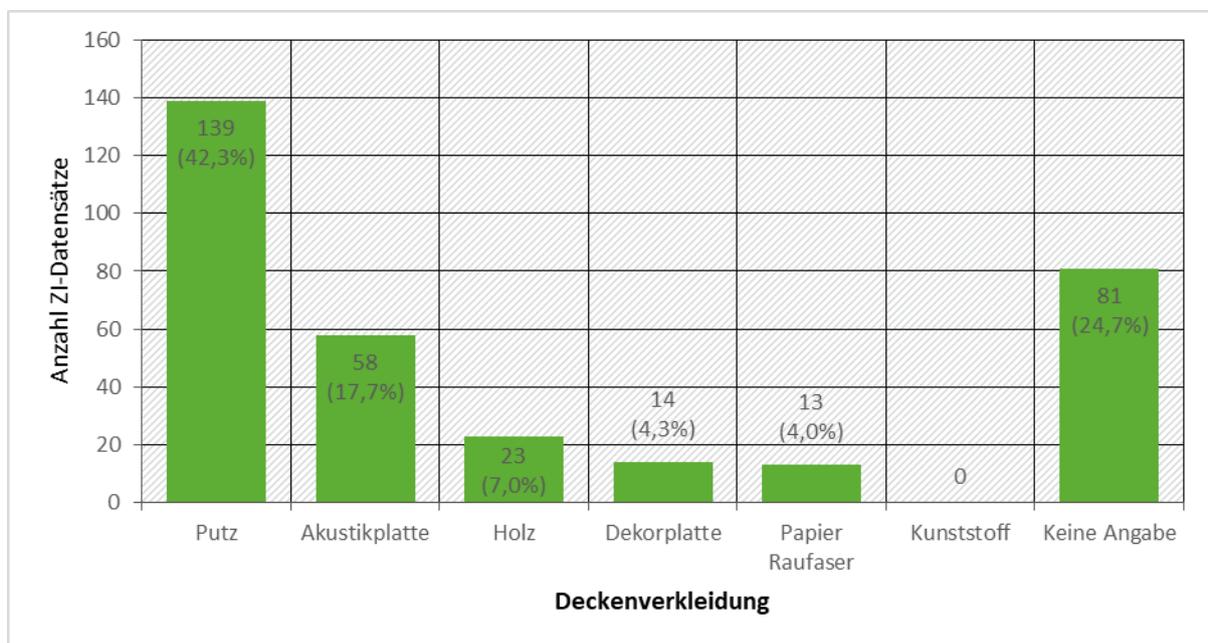


Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2.4.5 Decke

Ebenso wie bei den Wänden wurde als Deckenverkleidung mit 139 Fällen am häufigsten Putz genannt (Abbildung 15). Häufig waren außerdem Verkleidungen mit Akustikplatten, seltener Verkleidungen mit Holz, Dekorplatten oder Raufasertapete.

Abbildung 15: Anzahl der ZI-Datensätze mit Angabe der jeweiligen Art der Deckenverkleidung und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der ZI-Datensätze in Klammern.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2.4.6 Innenraum-Renovierung

Für die Kategorie Innenraum-Renovierung waren Mehrfachnennungen möglich. Zu 128 von insgesamt 328 ZI-Datensätzen gab es keine Angaben zur Renovierung. Für 67 ZI-Datensätze war die Durchführung einer Renovierung in den letzten fünf Jahren den Nutzenden nicht bekannt. In allen anderen Räumen dominierte die Erneuerung des Fußbodens mit 80 Nennungen. In 79 Fällen wurde genauer aufgeschlüsselt angegeben, dass es sich um die Renovierung des Fußbodenbelages handelte und in 18 Fällen zusätzlich zum Fußbodenbelag der Unterboden renoviert wurde. Wände/Decke wurde in 67 Fällen renoviert, in 38 Fällen neue Produkte oder Möbel in den Raum integriert und in 27 Datensätzen wurden Fenster, Heizkörper und/oder Türen neu gestrichen. Die Kombination von Renovierungsmaßnahmen trat häufiger auf als die Durchführung einer Einzelmaßnahme. Eine genaue Aufschlüsselung der Mehrfachnennungen von Renovierungsmaßnahmen je untersuchten Raum enthält Tabelle 10.

Tabelle 10: Anzahl der ZI-Datensätze pro Art der Renovierung mit Ein- und Mehrfachnennungen.

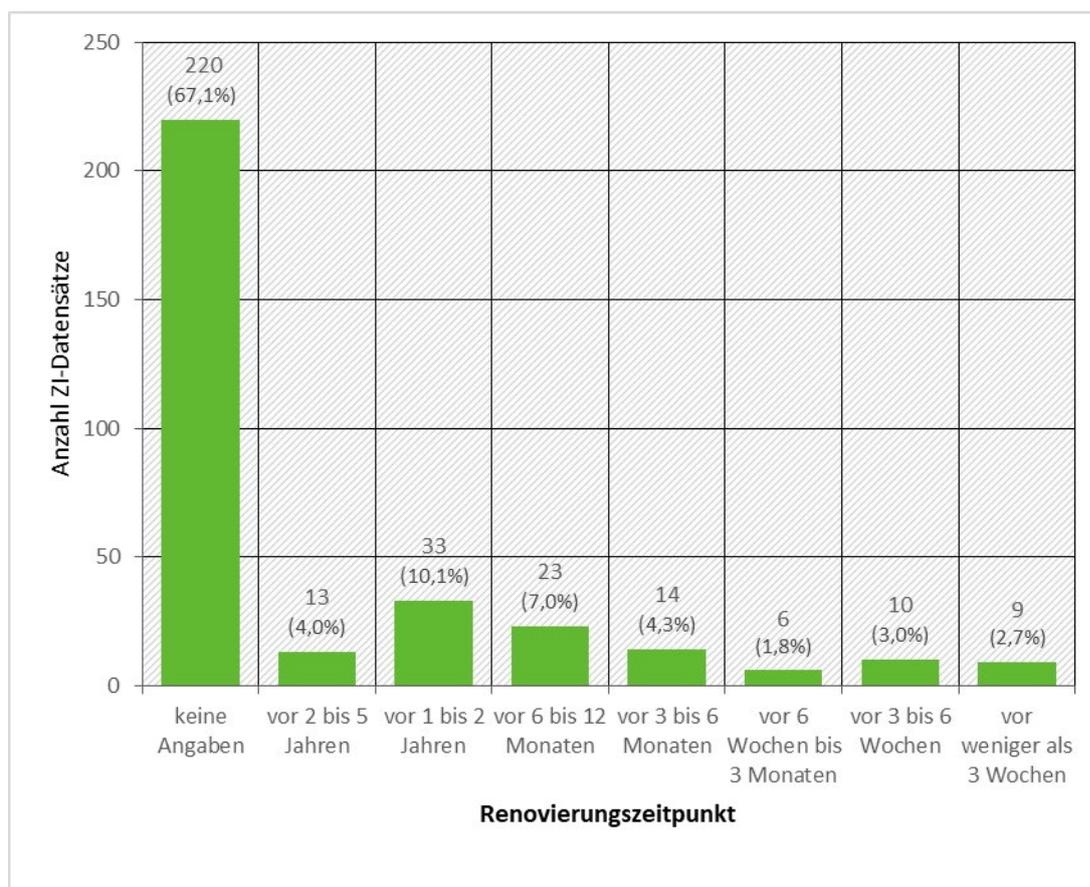
| Renovierungsmaßnahmen | Anzahl ZI (in %) |
|---|--------------------|
| Wände/Decken | 13 (3,9 %) |
| Fußboden | 4 (1,2 %) |
| Belag | 7 (2,1 %) |
| Neue Produkte/Möbel | 4 (1,2 %) |
| keine in den letzten 5 Jahren | 67 (19,9 %) |
| dem Nutzer oder der Nutzerin unbekannt | 23 (6,8 %) |
| Wände/Decken + Fußboden | 5 (1,5 %) |
| Fußboden: Belag | 23 (6,8 %) |
| Wände/Decken + Neue Produkte/Möbel | 1 (0,3 %) |
| Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen + Neue Produkte/Möbel | 1 (0,3 %) |
| Wände/Decken + Fußboden: Belag | 10 (3,0 %) |
| Wände/Decken + Belag + Neue Produkte/Möbel | 1 (0,3 %) |
| Wände/Decken + Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen + Neue Produkte/Möbel | 3 (0,9 %) |
| Fußboden: Belag + Unterboden | 4 (1,2 %) |
| Wände/Decken + Fußboden: Belag + Unterboden | 2 (0,6 %) |
| Wände/Decken + Fußboden: Belag + Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen | 3 (0,9 %) |
| Wände/Decken + Fußboden: Belag + Neue Produkte/Möbel | 3 (0,9 %) |
| Wände/Decken + Belag + Unterboden + Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen | 1 (0,3 %) |
| Wände/Decken + Belag + Unterboden + Neue Produkte/Möbel | 2 (0,6 %) |
| Neue Produkte/Möbel + Belag + Unterboden + Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen | 19 (5,7 %) |
| Keine Angaben | 128 (38,1 %) |
| Σ | 328 (100 %) |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Im Vergleich zur VOC DB 2 wurden weniger Angaben über durchgeführte Renovierungsmaßnahmen gemacht. Auch der prozentuale Anteil der Räume ohne Renovierung in den letzten 5 Jahren war gegenüber der VOC DB 2 höher. Dagegen war der prozentuale Anteil der Räume, in denen eine Renovierung den Nutzenden nicht bekannt war deutlich geringer. Der prozentuale Anteil der Räume, in denen Arbeiten am Fußboden durchgeführt wurden, war in der Summe der Einzelmaßnahmen und Kombinationen mit 24 % in der VOC DB 3 höher als in den Räumen der VOC DB 2 mit 16 %.

Für 108 ZI-Datensätze gab es Angaben über die Zeit seit der letzten Renovierung (Abbildung 16) in Bezug zum Zeitpunkt der Probenahme. 14 % der Renovierungen lagen länger als ein Jahr zurück, 11 % lagen drei bis 12 Monate zurück und 7 % der Renovierungen wurden mit wenigen Wochen bis zu drei Monaten kurz vor den Messungen durchgeführt. Von 220 Räumen und damit von 67 % aller ZI-Datensätze lagen keine Angaben zum Zeitraum seit der letzten Renovierung vor.

Abbildung 16: Anzahl der ZI-Datensätze und der Zeit seit der letzten Renovierung. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl aller ZI-Datensätze.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

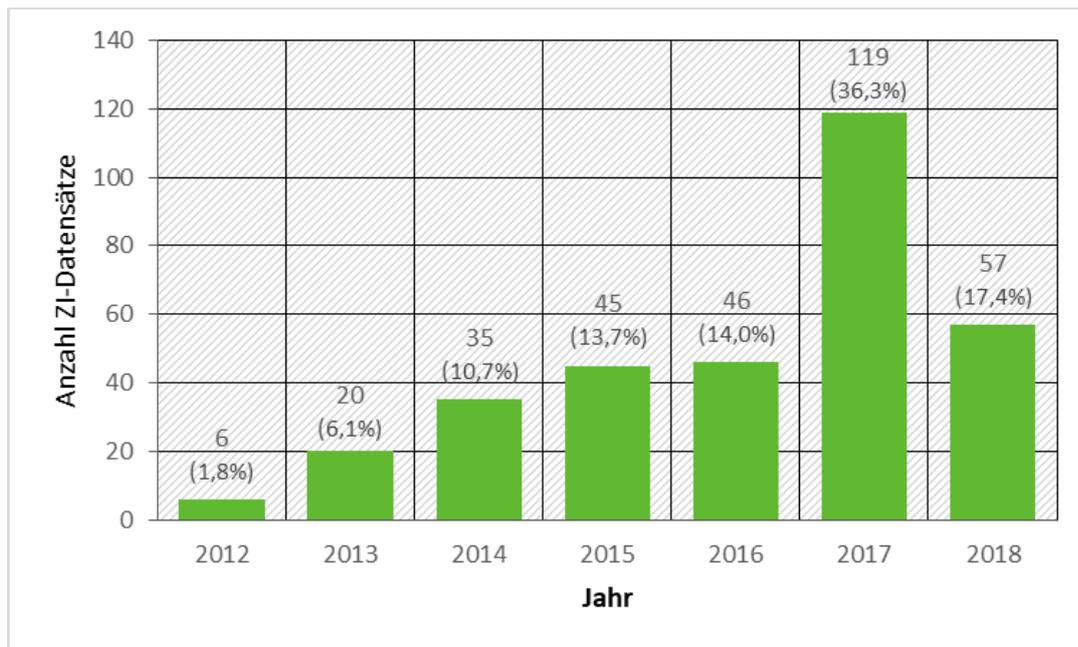
Im Vergleich zur VOC DB 2 war der prozentuale Anteil der Räume, zu denen Angaben über den Renovierungszeitpunkt gemacht wurden ca. 10 % höher. Proportional gesehen traten die Renovierungszeiträume vor weniger als 3 Wochen, vor 6 bis 12 Monaten und vor 1 bis 2 Jahren gegenüber der VOC DB 2 in der VOC DB 3 etwas häufiger auf.

4.2.5 Angaben zur Probenahme

4.2.5.1 Zeitpunkt der Probenahme

Es konnten Datensätze zeitlich an das Vorhaben VOC DB 2 anschließend ab 2012 bis zum Ende der Datenerhebung Mitte 2018 geliefert werden. Die Anzahl der ZI-Datensätze pro Jahr ist in Abbildung 17 aufgelistet. Die meisten Proben wurden mit 36 % im Jahr 2017 genommen. Zu Beginn des Erfassungszeitraumes 2012 und zum Ende des Erfassungszeitraumes 2018 war die Anzahl der gelieferten ZI-Datensätze geringer, da diese Jahre nicht vollständig berücksichtigt wurden.

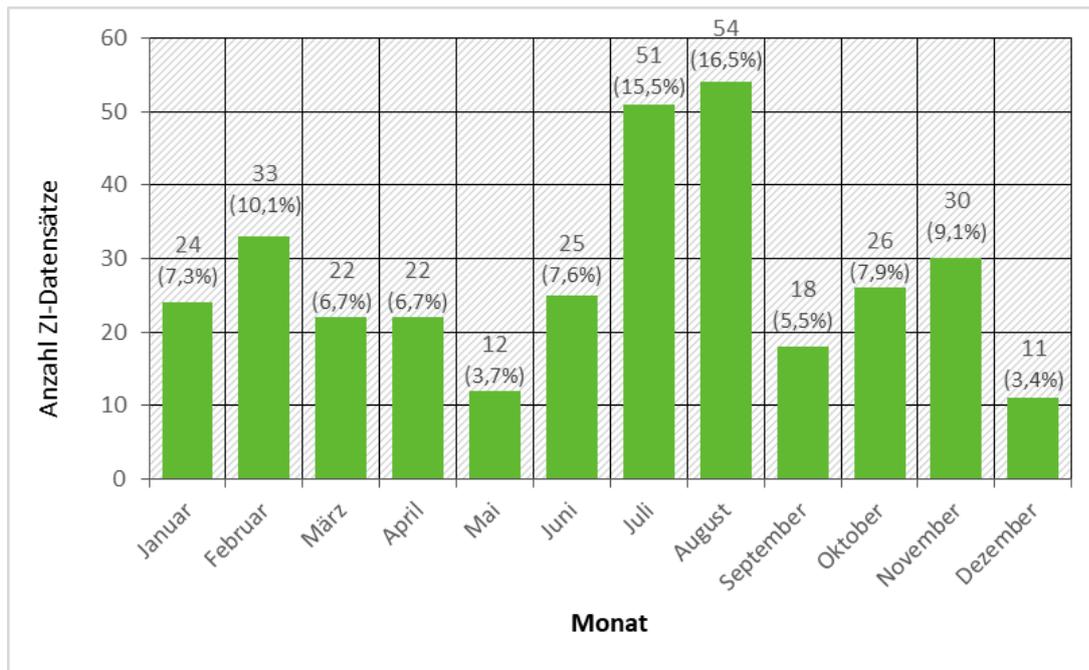
Abbildung 17: Anzahl und Anteil (in Klammern) der ZI-Datensätze pro Jahr.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Die Zeitpunkte der Probenahme waren im Projektverlauf über alle Monate des Jahres verteilt (Abbildung 18). Ein leichter saisonaler Schwerpunkt ist in den Monaten Juli und August mit 51 bzw. 54 ZI-Datensätzen zu erkennen, während die übrigen Monate mit 11-33 Datensätzen vertreten sind.

Abbildung 18: Anzahl und Anteil (in Klammern) der ZI-Datensätze pro Monat.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Im Vergleich zur VOC DB 2 ist die höhere Anzahl der Probenahmen in den Monaten Juli und August auffällig. Die Probenahmen in diesen Monaten lagen für die VOC DB 2 nur bei jeweils ca. 8 %. Dagegen war in der VOC DB 2 der prozentuale Anteil der Probenahmen im Oktober mit 16 % höher.

4.2.5.2 Untersuchungsziel

Beim Ziel der Untersuchung konnten Mehrfachnennungen getätigt werden. Folgende Ziele standen zur Auswahl:

- ▶ Statusmessung: Bestimmung der Schadstoffkonzentration eines Raumes nach Einstellung der Ausgleichskonzentration unter den gegebenen Bedingungen.
- ▶ Einhaltung von Richt- und Orientierungswerten: Messungen mit dem Ziel der Überprüfung, ob bestimmte Richt- oder Orientierungswerte überschritten sind.
- ▶ Wiederholungsmessungen: Messungen, die in einem bereits untersuchten Raum durchgeführt werden, zum Beispiel um das Abklingverhalten von Schadstoffquellen oder den Einfluss der Lüftung zu verfolgen.
- ▶ Freigabemessungen: Überprüfung der Raumluftkonzentration nach einer Sanierung oder Entfernung einer Schadstoffquelle. In der Regel wird die Einhaltung von vereinbarten Sanierungszielen überprüft.

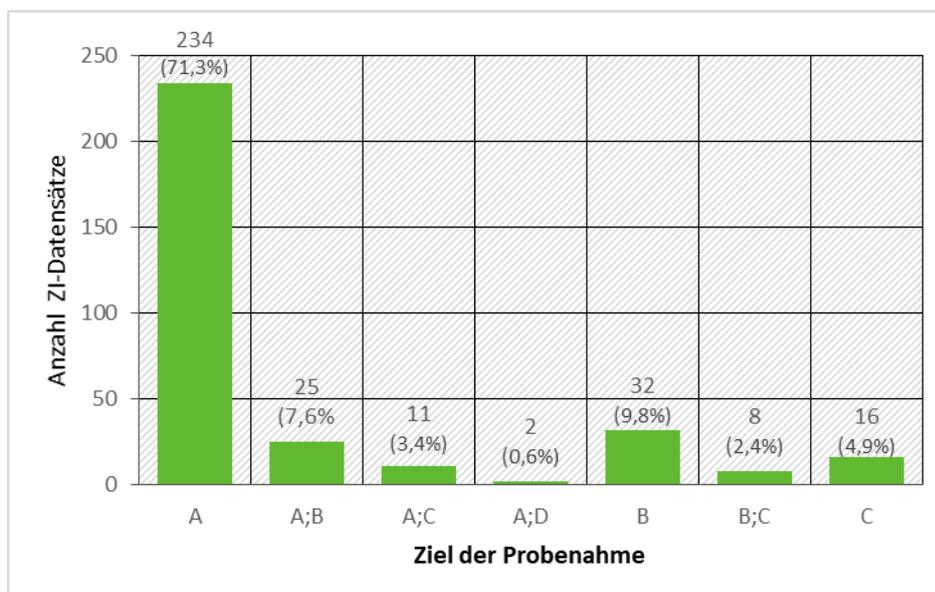
Bei einer Anzahl von 328 ZI-Datensätzen wurden 374 einzelne Nennungen mit verschiedenen Untersuchungszielkombinationen (siehe Tabelle 11 und Abbildung 19) gemacht. Am häufigsten genannt wurde das Ziel Statusmessung mit 234 ZI-Datensätzen, gefolgt von der Überprüfung von Richt- und Orientierungswerten (ROW) mit 32 Datensätzen oder eine Kombination aus beidem (25 ZI-Datensätze). In 35 Fällen wurden Wiederholungsmessungen und in 2 Fällen Freigabemessungen durchgeführt (inklusive der Zweifachnennungen).

Tabelle 11: Anzahl der ZI-Datensätze unterteilt nach Untersuchungsziel.

| Ziel | Anzahl |
|---------------------------------------|------------|
| Statusmessung | 234 |
| Einhaltung ROW | 32 |
| Wiederholungsmessung | 16 |
| Statusmessung + Einhaltung ROW | 25 |
| Statusmessung + Wiederholungsmessung | 11 |
| Einhaltung ROW + Wiederholungsmessung | 8 |
| Statusmessung + Freigabemessung | 2 |
| Σ | 328 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 19: Anzahl der ZI-Datensätze unterteilt nach Untersuchungsziel.



A = Statusmessung, B = Einhaltung ROW, C = Wiederholungsmessung, D = Freigabemessung

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Der hohe prozentuale Anteil an Statusmessungen entspricht in etwa der Höhe des prozentualen Anteils der Statusmessungen für die VOC DB 2.

4.2.5.3 Lüftungsbedingungen

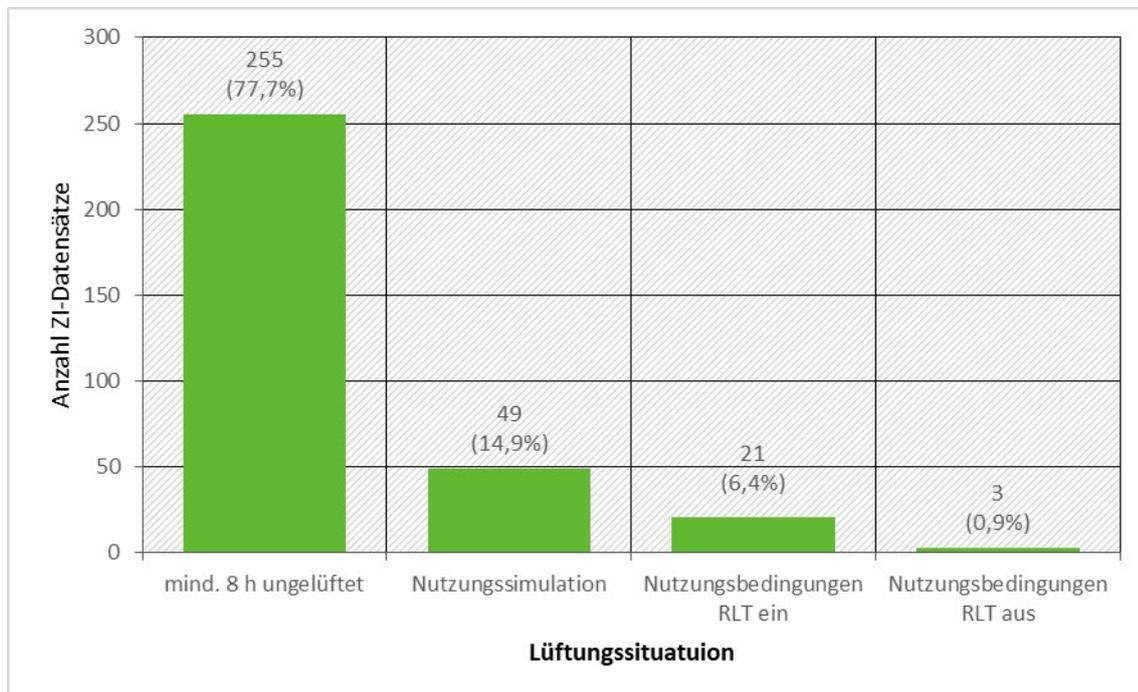
Für die Angabe der Lüftungssituation konnte zwischen vier Bedingungen gewählt werden:

- ▶ Der Raum verbleibt mindestens acht Stunden ungelüftet (Ausgleichskonzentration).
- ▶ Nutzungssimulation unter standardisierten Bedingungen (vor der Probenahme 5 Minuten Stoßlüftung, dann 45 Minuten nach Schließen der Fenster mit der Probenahme beginnen).
- ▶ Bei der Nutzungsbedingung mit ‚RLT ein‘ wurden Abluftanlagen und Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung eingeschaltet und waren seit mindestens drei Stunden im Raum wirksam.

- Bei der Nutzungsbedingung mit ‚RLT aus‘ wurden Abluftanlagen und Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung ausgeschaltet.

In 77,7 % der Fälle wurde in Räumen gemessen, die seit mind. 8 Stunden ungelüftet waren. 21,3 % der Räume wurden manuell durch Fensterlüftung oder mittels Lüftungsanlage belüftet. In drei Probenahmesituationen war die Lüftungsanlage abgeschaltet (siehe Abbildung 20).

Abbildung 20: Anzahl und Anteil der ZI-Datensätze unterteilt nach Lüftungsbedingungen.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Der Anteil an Messungen unter Lüftungsbedingungen ist in der VOC DB 3 deutlich höher als in der VOC DB 2. Der prozentuale Anteil der ZI-Datensätze mit Probenahmen in mindestens acht Stunden ungelüfteten Räumen lag in der VOC DB 2 bei 93 %. Nur 6,7 % der Räume wurden manuell (Nutzungssimulation) oder technisch belüftet.

4.2.5.4 Raumsituation

Zur Raumsituation konnten Angaben zu Baufeuchte und Schimmel, Raucherzimmer, Möblierung, Anzahl der Personen im Raum und Geruch gemacht werden.

Von den 328 ZI-Datensätzen wurden in 245 Fällen Angaben über Raucherzimmer, davon 2 positiv, in 249 Fällen Angaben zur Baufeuchte, davon 15 positiv und in 248 Fällen Angaben über Schimmelbefall, davon 8 positiv, gemacht.

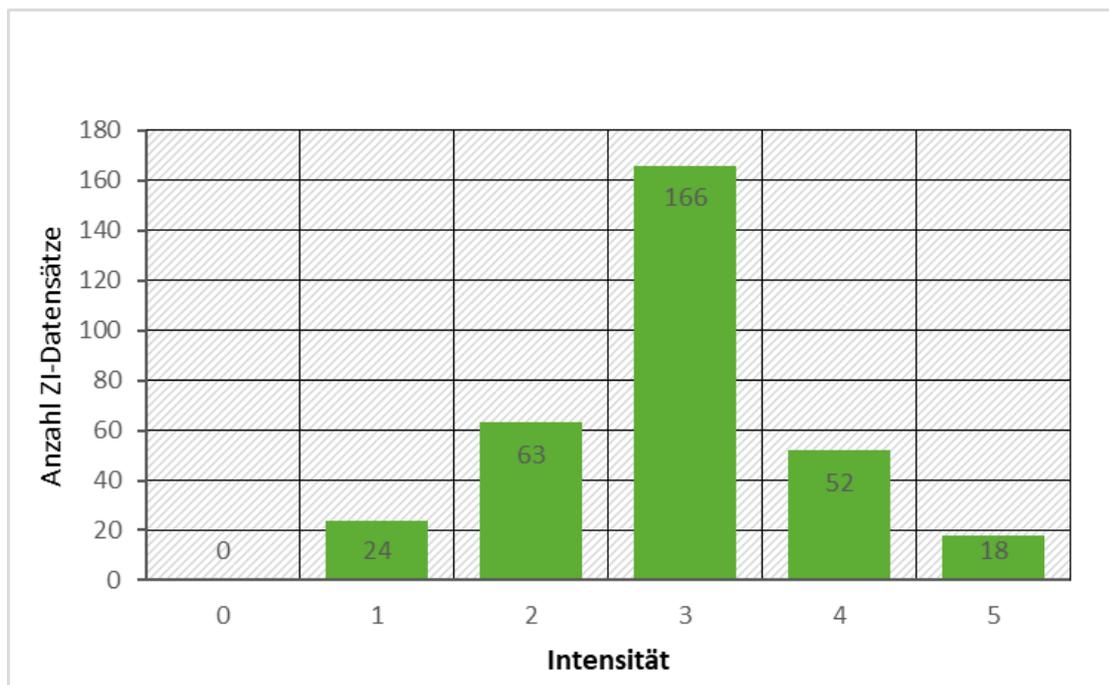
Von den insgesamt 328 ZI-Datensätzen lagen für 190 Datensätze Angaben zur Möblierung (davon 159 möbliert) und in 293 Datensätzen Angaben zur Anzahl der Personen im Raum, die zwischen 0 und 5 Personen lag, vor. Für 323 ZI-Datensätze erfolgte die Beurteilung der Geruchsintensität (Abbildung 21). Die Hedonik wurde für 120 ZI-Datensätze beurteilt, die Akzeptanz für 107 Datensätze (Abbildung 22 und Abbildung 23).

Die Geruchsbewertung im Zuge der Probenahmen sollte unmittelbar nach Betreten des Raumes vergeben werden. Die Geruchsintensität wurde von (0)/ sehr schwach (1)/ schwach (2)/ mittel (3)/ stark (4)/ bis sehr stark (5) eingestuft. Die Hedonik wurde mit einer neunstufigen Skala von äußerst unangenehm (-4) bis äußerst angenehm (4) bewertet. Die Akzeptanz wurde mit Hilfe

einer visuellen Analogskala in Stufen von 0,1 von klar unakzeptabel (-1) bis klar akzeptabel (+1) eingeordnet. Zwischennoten in Abstufungen der Geruchsnoten waren erlaubt und sind in Abbildung 21 zusammengefasst dargestellt (für Details siehe Abbildungsbeschriftung).

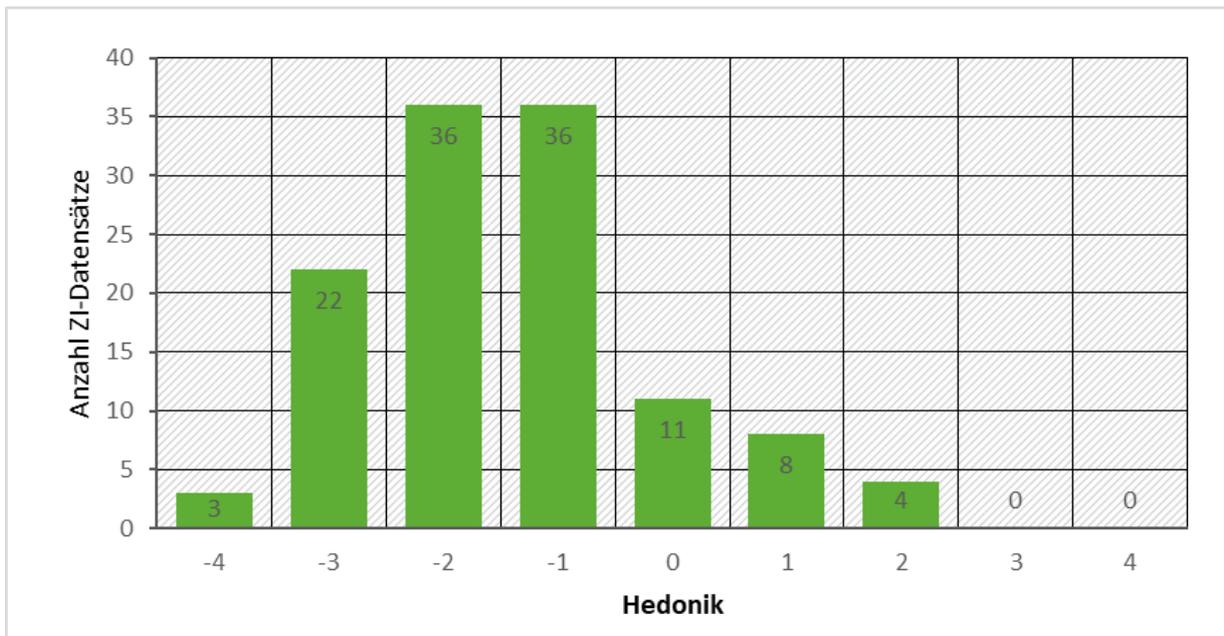
Mit 166 Datensätzen wurde bei dem größten Teil der ZI-Datensätze die Geruchsintensität 3,0 angegeben. Der Mittelwert liegt bei 2,82 und damit etwas höher als für die VOC DB 2 (siehe Kapitel 3.2.2). Die Hedonik wurde bei der größten Anzahl ZI-Datensätze als unangenehm eingestuft. Der Mittelwert erreicht -1,33. Die Akzeptanz war über die ZI-Datensätze breit gestreut, die Mehrzahl der ZI-Datensätze wurde jedoch negativ (Geruch unakzeptabel) eingestuft. Der Mittelwert wurde mit -0,33 berechnet.

Abbildung 21: Häufigkeit des Auftretens der unterschiedlichen Stufen der Geruchsintensität in den ZI-Datensätzen. Es wurde auf ganzzahlige Schritte gerundet; n = 323.



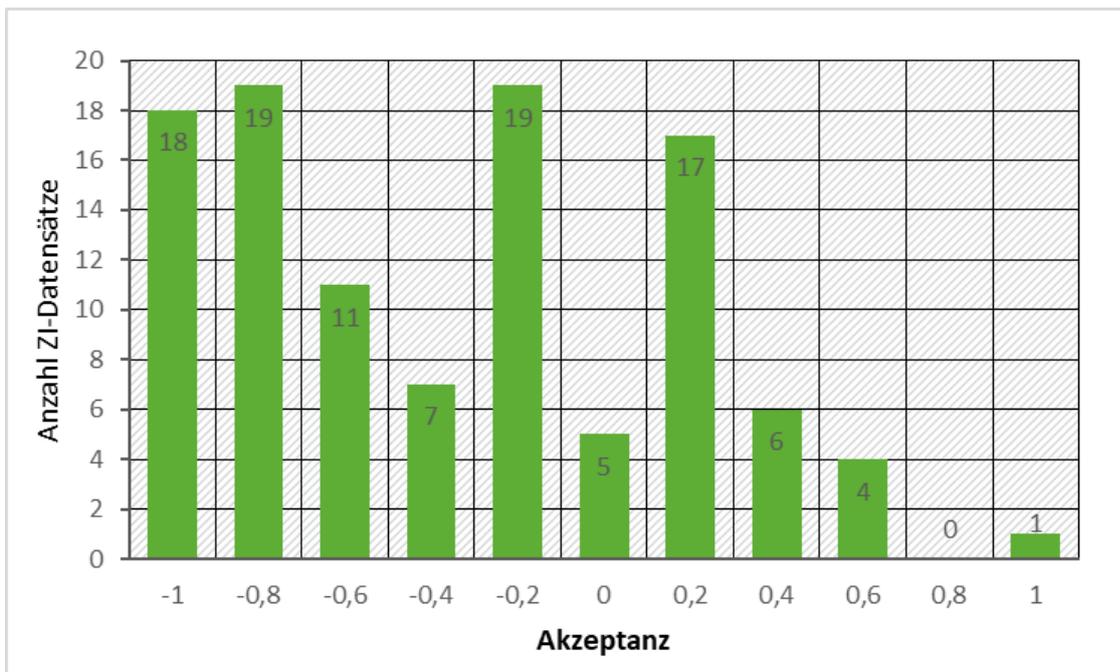
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 22: Häufigkeit des Auftretens der unterschiedlichen Stufen der Hedonik in den ZI-Datensätzen. Es wurde auf ganzzahlige Schritte gerundet, n = 120.



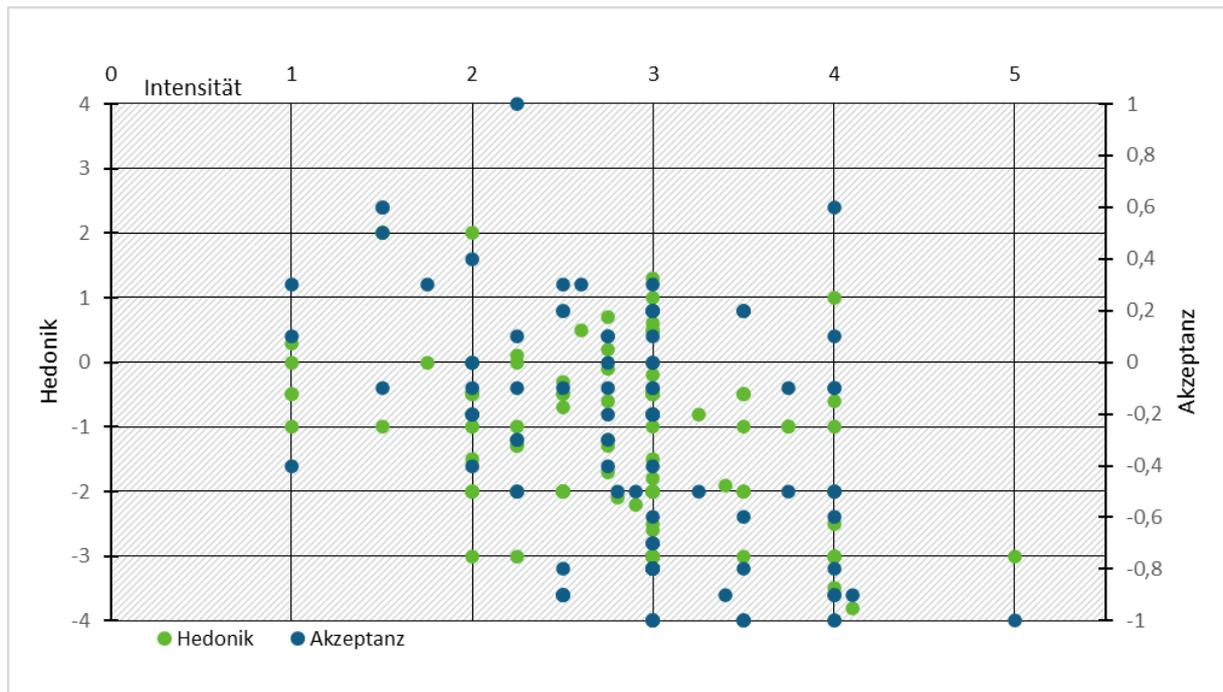
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 23: Häufigkeit des Auftretens der unterschiedlichen Stufen Akzeptanz in den ZI-Datensätzen. Es wurden jeweils zwei Akzeptanzniveaus zusammengefasst dargestellt (Bsp.: 0,5 und 0,6 zusammengefasst als 0,6), n = 107.



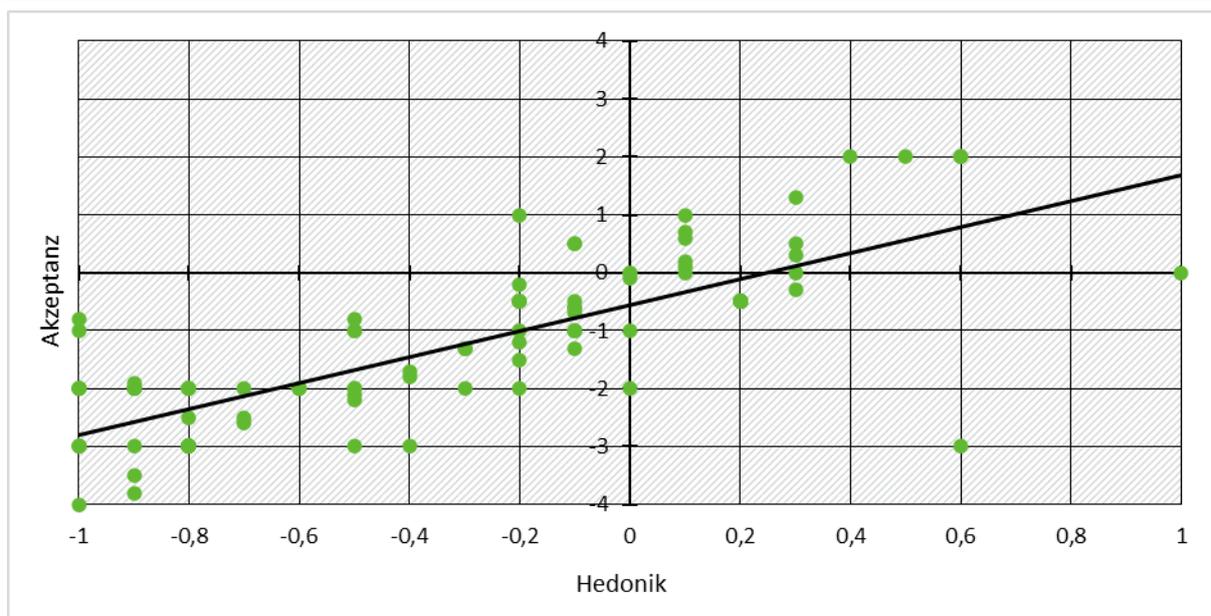
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 24: Auftragung der Geruchsintensität (x-Achse), Hedonik (y-Achse links) und Akzeptanz (y-Achse rechts) als Punktdiagramm zur Darstellung des gemeinsamen Auftretens der Skalenwerte in den Zi-Datensätzen. n = 107.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 25: Auftragung der Geruchsakzeptanz (x-Achse), Hedonik (y-Achse) als Punktdiagramm zur Darstellung des gemeinsamen Auftretens der Skalenwerte in den Zi-Datensätzen. n = 107.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

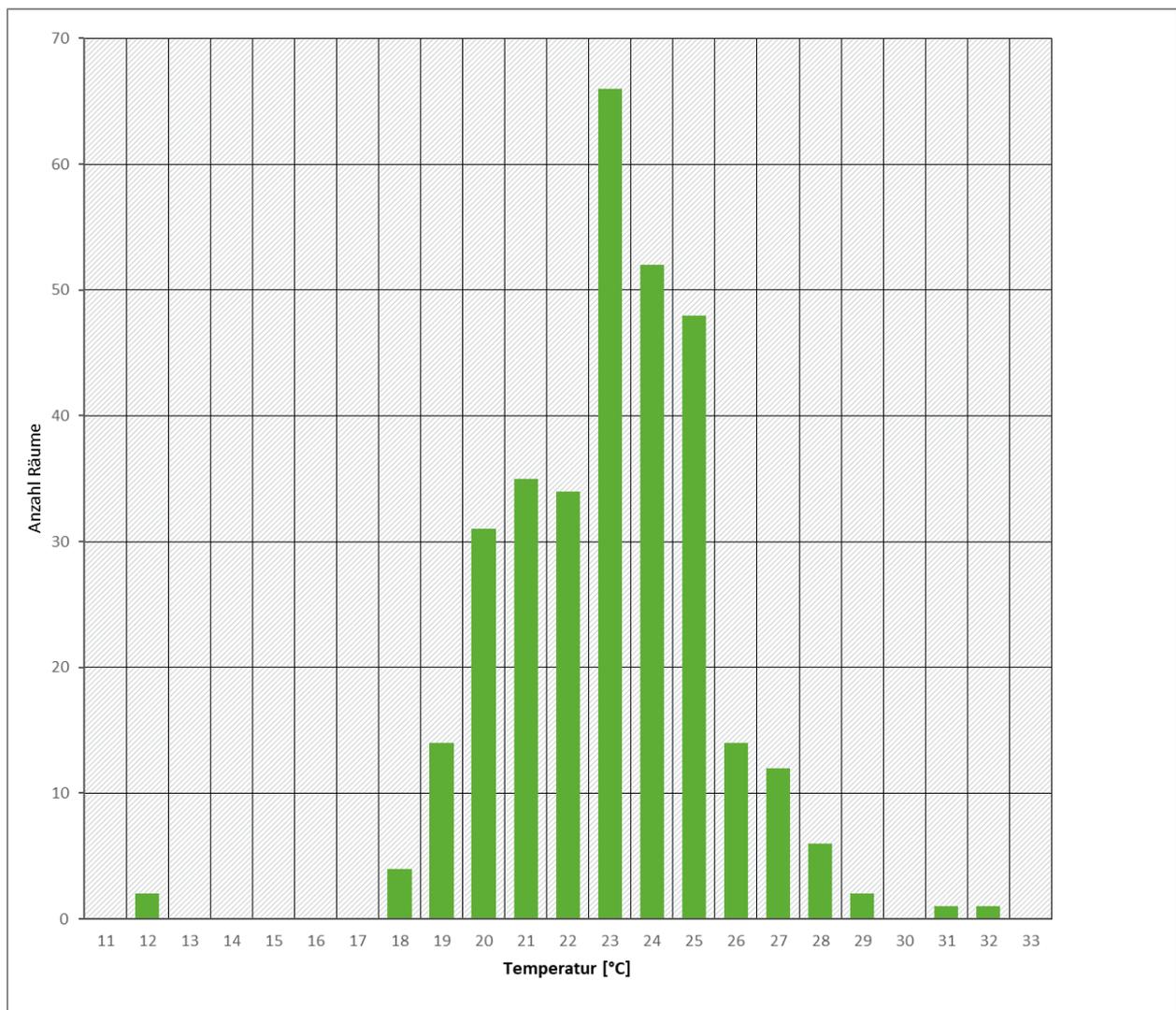
Im Vergleich der verschiedenen Daten zur Einschätzung des Geruchs ist eine Tendenz zu niedrigeren Akzeptanz- und Hedonikwerten bei höherer Geruchsintensität zu erkennen (Abbildung 24). Auch bei geringer und mittlerer Geruchsintensität sind jedoch negative Werte vorhanden. Beim direkten Vergleich von Akzeptanz und Hedonik (Abbildung 25) ist eine

Korrelation der Bewertungen erkennbar. Die Mehrheit der ZI-Datensätze mit niedrigen Akzeptanzwerten wurden auch in Bezug auf die Hedonik negativ bewertet (Geruch unakzeptabel und unangenehm), ZI-Datensätze mit hohen Akzeptanzwerten wurden bis auf wenige Ausnahmen auch für die Hedonik positiv eingestuft (Geruch akzeptabel und angenehm).

4.2.5.5 Temperatur

Raumtemperatur während der Probenahme lag im Mittel bei 22,63 °C und damit geringfügig über dem Mittelwert für die Raumtemperatur in der VOC DB 2 mit 21,99 °C. Abbildung 26 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Raumtemperatur während der Probenahme (n=322).

Abbildung 26: Häufigkeiten verschiedener Raumtemperaturen [C°] während der Probenahme.

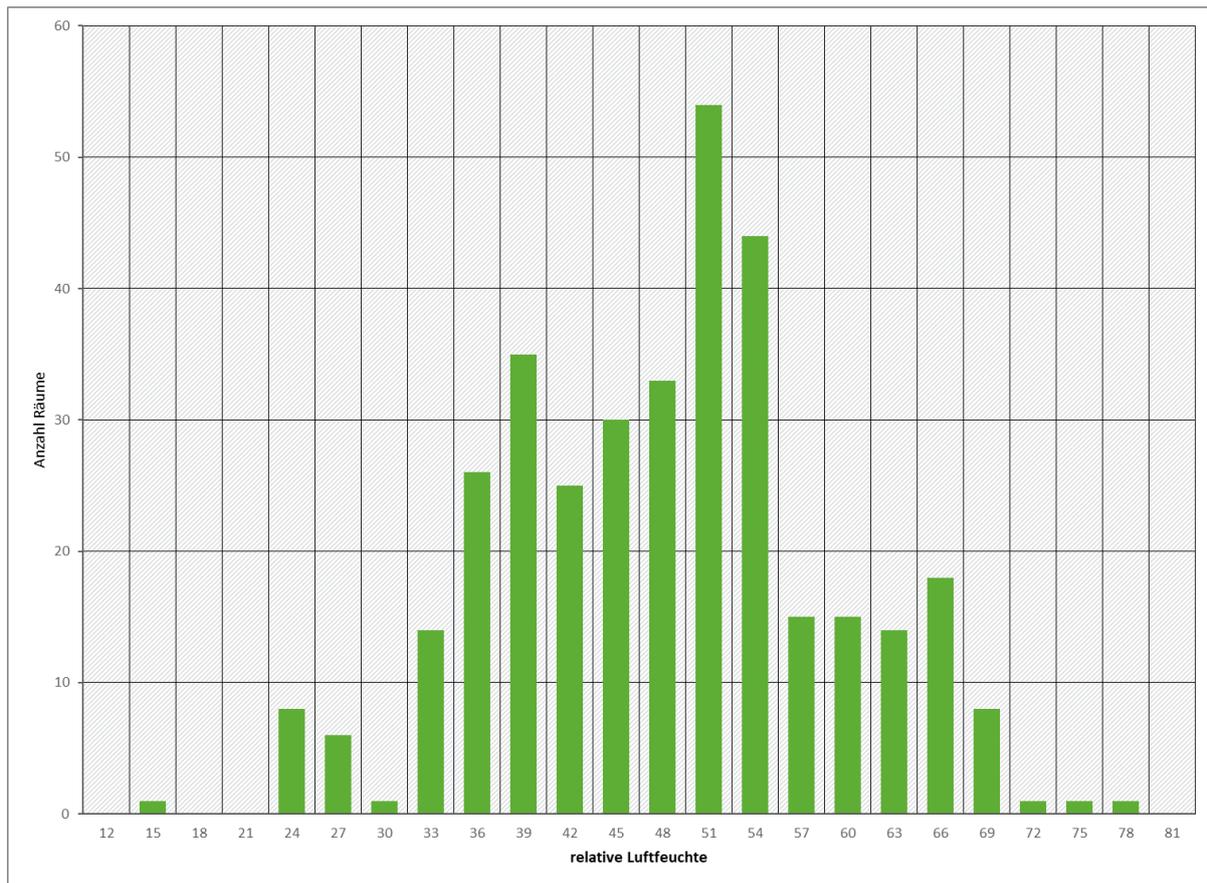


Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2.5.6 Feuchte

Die während der Probenahme gemessene Luftfeuchtigkeit betrug durchschnittlich 47,26 % rel. Feuchte. Für das Vorhaben VOC DB 2 wurde mit 48,16 % ein geringfügig höherer Wert ermittelt. Abbildung 27 zeigt die Häufigkeitsverteilung der ermittelten Werte.

Abbildung 27: Häufigkeiten verschiedener relativer Luftfeuchten [%] während der Probenahme.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

4.2.5.7 Luftwechselrate

Ergänzend zu den VOC-Messungen wurde in einigen Räumen auch die Luftwechselrate (LWR) zum Zeitpunkt der Probenahme ermittelt. Insgesamt wurden in die Datenbank 61 Luftwechselraten aufgenommen. 15 weitere Bestimmungen von Luftwechselraten aus Geruchsbeschwerdefällen konnten für die Auswertung der durchschnittlichen Luftwechselraten zusätzlich ergänzt werden. Diese Datensätze waren aufgrund eines Fehlers nicht in die Datenbank importiert worden. Insgesamt standen somit 76 Bestimmungen der LWR zur Verfügung, von denen allerdings nur 61 mit Messwerten verknüpft sind. In zwei Fällen erfolgten die Bestimmung der LWR sowie die VOC-Messungen bei intensiver Belüftung (Quer- bzw. Stoßlüftung). Die hier erzielten Luftwechselraten in Höhe von 23,22 /h (Querlüftung) und 10,2 /h (Stoßlüftung) wurden bei den statistischen Auswertungen nicht berücksichtigt. Die übrigen Luftwechselraten beziehen sich auf den Luftwechsel bei geschlossenen Fenstern.

In der überwiegenden Zahl der Fälle (n=48) erfolgte die Bestimmung der Luftwechselrate mittels CO₂ Abklingmethode. In 25 Fällen wurde für die Abklingmethode das Tracergas SF₆ verwendet. In drei Fällen wurde die Luftwechselrate anhand des Ergebnisses einer Blower Door Messung umgerechnet.

Tabelle 12: Anzahl der Methoden für die Bestimmung der LWR.

| LWR-Methode | Anzahl |
|--------------------------------|-----------|
| Abklingmethode CO ₂ | 48 |
| Abklingmethode SF ₆ | 25 |
| Blower Door (umgerechnet) | 3 |
| Σ | 76 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

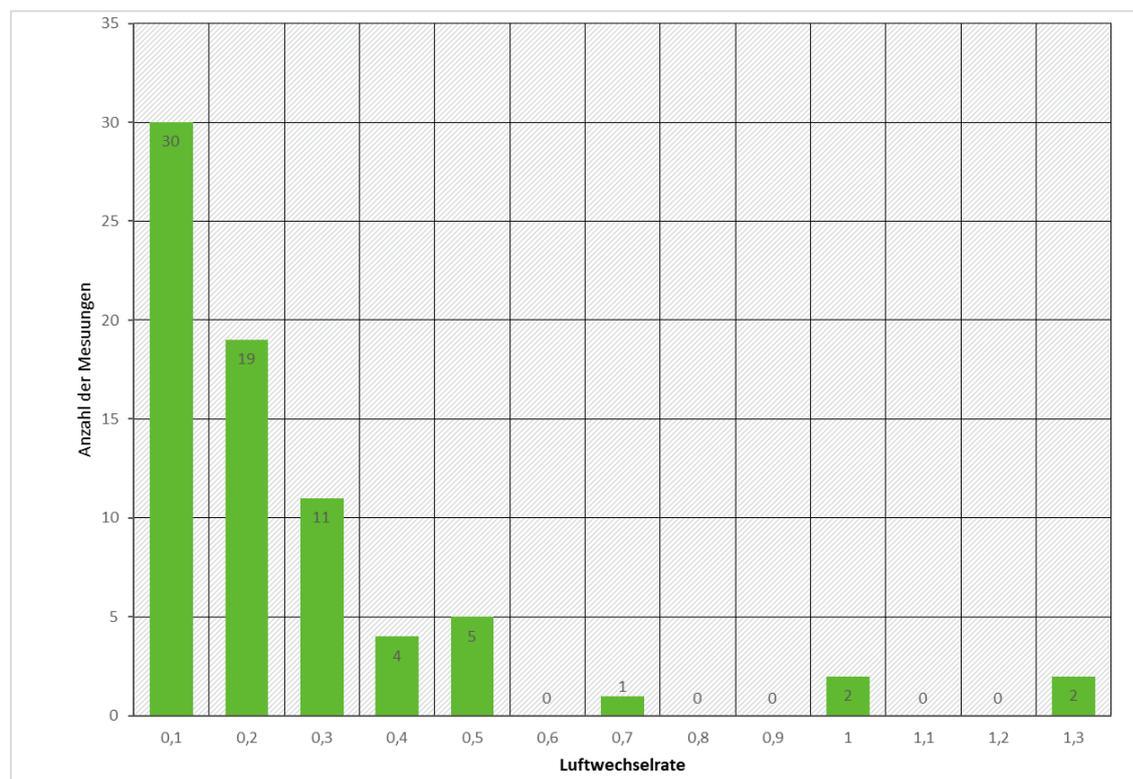
Es wurden 59 Luftwechselratenbestimmungen in Räumen mit Fensterlüftung durchgeführt. Elf Räume waren mit einer Lüftungsanlage ausgestattet und drei Räume mit einer Klimatisierung.

Tabelle 13: Belüftungsart der Räume, in denen die LWR bestimmt wurde.

| Belüftungsart | Anzahl |
|------------------|-----------|
| Manuelle Lüftung | 59 |
| RLT | 11 |
| Klimaanlage | 3 |
| Keine Angabe | 1 |
| Σ | 76 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 28: Verteilung der Luftwechselraten (/h). Klassen 0 bis 0,10; 0,11 bis 0,20 usw. Messwerte ohne Ausreißer (n=74).



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

In den untersuchten Räumen wurden Luftwechselraten zwischen 0,008 /h und 1,24 /h mit einem Mittelwert von 0,22 /h \pm 0,25 gemessen. Über 60 % der Luftwechselraten lagen bei \leq 0,20 /h, 40 % lagen bei \leq 0,10 /h.

In den Räumen mit Fensterlüftung wurden niedrigere Luftwechselraten bestimmt. Der Mittelwert liegt hier bei 0,17 /h \pm 0,16, in Räumen mit Lüftungsanlage dagegen bei 0,51 /h \pm 0,44. In den drei klimatisierten Räumen wurde mit 0,05 /h eine sehr niedrige Luftwechselrate bestimmt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die statistischen Kenndaten für die die Teilgruppen Fensterlüftung, Lüftungsanlage und Klimatisierung.

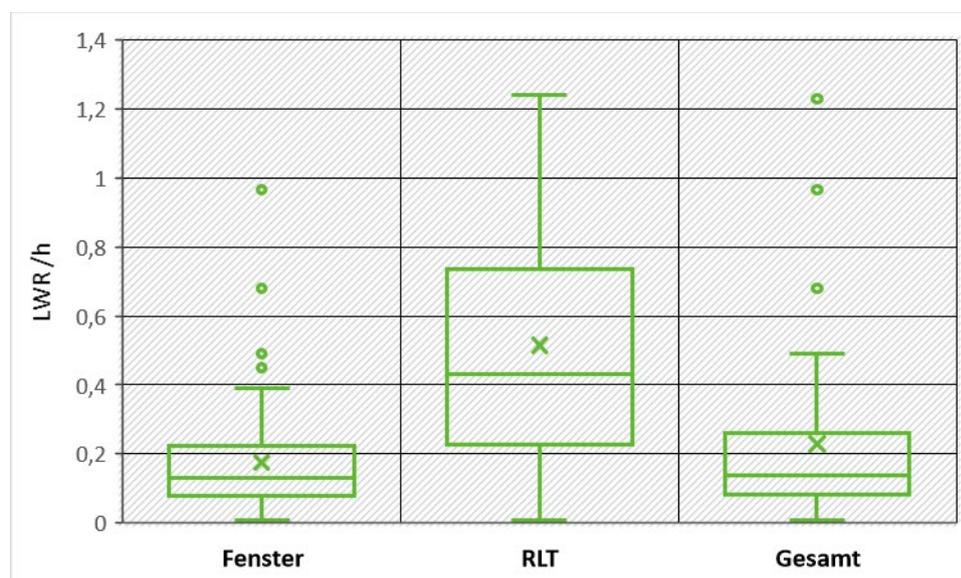
Tabelle 14: Statistische Kennwerte der Luftwechselraten [/h] für Räume mit Fensterlüftung, Lüftungsanlage oder Klimaanlage sowie Gesamt (ohne Ausreißer).

| Stat. Kennwerte | Manuelle Lüftung | RLT | Klimaanlage | Gesamt |
|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Anzahl | 57 | 11 | 3 | 73 |
| Median | 0,13 | 0,43 | 0,05 | 0,13 |
| MW \pm SD | 0,17 \pm 0,16 | 0,51 \pm 0,44 | 0,05 \pm 0,01 | 0,22 \pm 0,25 |
| Min | 0,008 | 0,008 | 0,05 | 0,008 |
| Max | 0,966 | 1,24 | 0,06 | 1,24 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

In der Abbildung 29 sind die Kastengrafiken (BoxPlots) für die ermittelten Lüftungsdaten dargestellt. Die BoxPlots stellen das 25. Perzentil (inklusive Median), den Median (Linie), den Mittelwert (Kreuz) und das 75. Perzentil (inklusive Median) dar. Der Whisker gibt den Minimal- und den Maximalwert an. Ausreißer werden als Kreise dargestellt.

Abbildung 29: Luftwechselrate (LWR) in Räumen mit Fensterlüftung, technischen Lüftungsanlagen sowie allen Räumen Fensterlüftung, RLT und Klimatisierung.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

5 AP 3: Vergleich des VOC-Vorkommens in Räumen mit und ohne Geruchsbeschwerden

5.1 Vergleich der VOC-Konzentrationen von Geruchsfällen (Geruch ja DB 1 und 2 und DB 3 Geruch ja mit Geruch nein DB 1 und 2)

In den nachfolgenden Kapiteln werden zunächst die Zusammensetzung des Stoffspektrums der DB 3 anschließend im Vergleich zu den Geruchsfällen aus der DB 1 und 2 (entsprechend AP1) und schließlich die Geruchsfälle DB 3 und DB 1/2 im Vergleich zu den Fällen ohne Geruch der DB 1/2 beschrieben. In der Tabelle 17 werden statistische Kennwerte für ausgewählte Einzelstoffe für die genannten Gruppen vergleichend aufgeführt. Weitere Daten hierzu können den Tabellen im Anhang (Tabelle B 1 und Tabelle B 6) entnommen werden.

5.2 Beschreibung der Stoffgruppen / Stoffspektrum

5.2.1 Alkane (n-Alkane, Isoalkane und Cycloalkane)

Die Konzentrationen der Alkane sind in Bezug auf die Ausbildung von Gerüchen wie bereits in Kapitel 3.5.1 beschrieben eher als unspezifisch zu bewerten. Untersucht wurden 35 Alkane inkl. VVOC und SVOC wie Pentan und Alkane > C16. Pentan ist mit 13 Messwerten neu dazugekommen. Häufig nachgewiesen (mit mehr als 60 % der Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze) wurden n-Undecan und n-Dodekan. Für n-Undecan wurde in der Geruchsgruppe der DB 3 ein P 90 von $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erzielt, der über den P90-Werten für die Fälle mit und ohne Geruch der DB 1 und 2 liegt. Die höchste Einzelstoffkonzentration der DB 3 insgesamt wurde mit $12.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für 2,2,4,6,6-Pentamethylheptan gemessen.

Im Vergleich zwischen den Geruchsgruppen Geruch ja DB 1 und 2 und Geruch ja DB 3 wurden Alkane in der Geruchsgruppen Geruch ja DB 1 und 2 häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Für Hexan und Methylpentane wurden in der Geruchsgruppe DB 1/2 höhere Konzentrationen ermittelt. Für C10 bis C12 Alkane wurden in der Geruchsgruppe DB 3 höhere Einzelstoffkonzentrationen ermittelt. Für die übrigen Alkane wurden in beiden Geruchsgruppen ähnlich hohe Perzentile ermittelt. Für Cycloalkane wurden in der Gruppe Geruch ja DB 1 und 2 überwiegend höhere Konzentrationen als in der Gruppe Geruch ja DB 3.

In Räumen mit Geruch wurden insgesamt eher etwas höhere Konzentrationen für Alkane gemessen als in der Gruppe ohne Geruch. Eine Ausnahme stellt 2,2,4,4,6-Pentamethylheptan (mit geringer Fallzahl) dar. Auch in der Geruchsgruppe der DB 3 waren die Konzentrationen für **Cyclopentan** deutlich höher als in der Gruppe ohne Geruch.

5.2.2 Alkene

Die Konzentrationen der Alkene waren überwiegend niedrig und lagen häufig unterhalb der Bestimmungsgrenze. Messwerte wurden für 14 Einzelstoffe und neu hinzugekommen für das Dodecen-Isomerenmisch geliefert. Nur vereinzelt wurden hohe Einzelstoffkonzentrationen mit Konzentrationen über $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. 4-Phenylcyclohexen wurde beispielsweise mit einem Maximalwert von $21,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt. Alkene wurden in der Gruppe Geruch ja DB 1 und 2 häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Zum Beispiel wurde das am häufigsten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesene Alken 1-Hepten in der DB 1 und 2 in 20,5 % der Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt, in den Fällen mit Geruch in 30,6 % der Fälle und in den Fällen ohne Geruch in 21,3 % der Fälle. In der DB 3 Geruchsgruppe lagen nur 2,7 % der Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Vergleichsweise hohe Messwerte wurden für die Summe der Dodecen-Isomere ermittelt. Von den insgesamt 34 Messwerten lagen 15 Werte (44,1 %) oberhalb der Bestimmungsgrenze. Der Maximalwert erreichte 299 µg/m³. Das 90. Perzentil wurde für die Gesamtgruppe DB 3 mit 265 µg/m³ bestimmt. Von diesen 15 Messungen wurden 14 Messungen in Räumen mit Teppichboden durchgeführt. Eine Messung erfolgte in einem Raum mit einem elastischen Bodenbelag. Die Messwerte für Isododecene wurden von 4 Instituten geliefert.

Die nachfolgende Tabelle zeigt für verschiedene Teilgruppen ermittelte statistische Kennwerte.

Tabelle 15: Vergleich der statistischen Kennwerte für das Dodecen-Isomerengemisch je nach Bodenbelagsausstattung.

n = Stichprobengröße, n>BG = Anzahl der Messwerte über der Bestimmungsgrenze, %>BG = prozentualer Anteil der Messungen über der Bestimmungsgrenze, Min = niedrigster Wert der Verteilung, Median = 50. Perzentil, P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil. Max = höchster Wert der Verteilung.

| Teilgruppe | n | n>BG | %>BG | Min | Median | P90 | P95 | Max |
|---|----|------|------|------|--------|------|------|-----|
| DB 3 Gesamt | 34 | 15 | 44,1 | <BG | <BG | 265 | 279 | 299 |
| DB 3 Bodenbelag: Teppichboden | 16 | 14 | 87,5 | <BG | 53,0 | 281 | 289 | 299 |
| DB 3 Bodenbelag: Teppichboden, Renovierung: Belag | 6 | 6 | 100 | 42,0 | 264 | 287 | 293 | 299 |
| DB 3 Bodenbelag: Kunststoffboden | 8 | 1 | 12,5 | <BG | <BG | 46,0 | 88,0 | 130 |
| DB 3 Bodenbelag: Linoleum | 2 | 0 | 0 | <BG | <BG | <BG | <BG | <BG |
| DB 3 Bodenbelag: Laminat | 2 | 0 | 0 | <BG | <BG | <BG | <BG | <BG |
| DB 3 Bodenbelag: Vollholz | 2 | 0 | 0 | <BG | <BG | <BG | <BG | <BG |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Quelle für Isododecene in der Raumluft sind in der Regel textile Bodenbeläge bzw. der in diesen Produkten enthaltene Klebstoff aus Styrol-Butadien-Latex (siehe auch Kapitel 7.4.1.1) (Schmidt 2019).

5.2.3 Aromaten

Die Stoffgruppe der Aromaten umfasst 88 Einzelverbindungen und Stoffgruppen. Gegenüber der DB 1 und 2 sind einige Verbindungen für die DB 3 neu hinzugekommen bzw. Verbindungen wie Dimethylnaphthaline und Inden wurden regelmäßiger gemessen, so dass trotz des insgesamt deutlich geringeren Datenumfangs für einige Stoffe in der DB 3 mehr Messwerte vorliegen. Für 23 der weniger häufig gemessenen Aromaten wurden keine Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze vorgelegt. 16 Aromaten wurden in mindestens 50 % der Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Für **Ehlytoluole, Trimethylbenzole, Tetramethylbenzole, Diethylbenzole** wurden für die DB 3 deutlich höhere Messwerte gegenüber DB 1 und 2 geliefert. Für Styrol wurde mit 1400 µg/m³ ein hoher Maximalwert geliefert. Während für Toluol in der Geruchsgruppe der Altdaten gegenüber der Gruppe ohne Geruch höhere Konzentrationen ermittelt wurden, waren die Messwerte für Toluol in der DB 3 im Vergleich DB 1 und DB 2 niedriger. Vermutlich spiegelt sich hier der allgemeine Trend des Rückgangs der Aromaten in der Innenraumluft wider. Für Xylole wurden ähnliche hohe Konzentrationen in allen Teilgruppen ermittelt. Auch für Phenol waren keine großen Unterschiede vorhanden.

Die statistischen Kennwerte für Kresole sind deutlich niedriger als für die Geruchfälle der DB 1 und DB 2. Möglicherweise bildet sich hier ein Trend im Rückgang von Kresolfällen ab.

Auch Dimethylphenole wurden in der DB 1 und 2 häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze und mit höheren Einzelwerten bestimmt.

Für **Naphthalin** wurde der höchste Maximalwert mit $131 \mu\text{g}/\text{m}^3$ innerhalb der Geruchsfälle für DB 1 und 2 ermittelt. Die statistischen Kennwerte P 90 und P 95 sind in der DB 3 deutlich höher. Für **1-Methylnaphthalin** und **2-Methylnaphthalin** wurden für die DB 3 höhere Maximalwerte und höhere Perzentile ermittelt.

Der Summenwert für Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen, der nur für die DB 3 ermittelt wurde, erreichte folgende Perzentile: P 50: $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, P 90: $32,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und P 95: $43,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Maximalwert lag bei $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In 10 % der untersuchten Räume war der Richtwert II für die Summe Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen in Höhe von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten.

Für **Indan** wurden in der DB 3 höhere P 90 und P 95 Perzentilwerte ermittelt.

5.2.4 Halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW)

Für halogenierte Kohlenwasserstoffe sind in der DB 3 einige Stoffe neu hinzugekommen bzw. wurden häufiger gemessen, wie z.B. Dichlormethan (VVOC).

Insgesamt wurden von den 62 Parametern für halogenierte Kohlenwasserstoffe für 45 Verbindungen keine Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze geliefert. Halogenierte Kohlenwasserstoffe wurden in der DB 3 noch seltener oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.

Auch Geruchsstoffe wie Chlornaphthaline, Dichlornaphthaline und 1,4-Dichlorbenzol wurden selten oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt. Für Chloranisole lagen nur Einzelwerte vor, da die Bestimmung der Chloranisole in der Regel nicht innerhalb der VOC-Prüfung erfolgt.

Die Unterschiede in der Höhe der Perzentilwerte zwischen den Gruppen mit und ohne Geruch sind unauffällig.

5.2.5 Alkohole

Es wurden einige Alkohole in der DB 3 neu aufgenommen, von denen die Konzentrationen oftmals unterhalb der Nachweisgrenze blieben. Von den insgesamt 39 gelisteten Alkoholen wurden 20 Verbindungen nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt.

Die ebenfalls mittels TDS-GC-MS bestimmbaren sehr flüchtigen Alkohole (VVOC) Ethanol, 1-Propanol und 2-Propanol wurden häufig oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Die Perzentilwerte der sehr flüchtigen Alkohole sind vergleichsweise hoch. Für **1-Butanol** wiesen die Geruchsfälle der DB 1 und 2 höhere Perzentile auf. Für **2-Ethyl-1-hexanol** wurde in der DB 3 der höchste P 90 Wert ermittelt. Das höchste 95. Perzentil lag in der Gruppe ohne Geruch vor. Für **Benzylalkohol** wiesen die Geruchsfälle der DB 1 und 2 höhere Konzentrationen auf.

Neu in die DB 3 aufgenommen wurden Isononanole. Isononanole treten z.B. im Zusammenhang mit der Hydrolyse des Weichmachers Diisononylphthalat (DINP) aus PVC-Bodenbelägen als Geruchsbildner auf (Grams et al. 2015). Für **Isononanole** wurden 5 Messwerte mit Konzentrationen zwischen $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geliefert.

5.2.6 Terpenoide Verbindungen

Das Substanzspektrum für Terpene wurde in der DB 3 gegenüber der DB 1 und 2 ebenfalls erweitert. Von den insgesamt 46 gelisteten terpenoiden Verbindungen wurden 21 Verbindungen nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt.

Die Geruchsfälle der DB 3 wiesen überwiegend etwas niedrigere Konzentrationen als die Geruchsfälle der DB 1 und 2 auf. Für α -Pinen, β -Pinen, Δ -3-Caren und Longifolen wurden höhere P 90 und P 95 Werte in der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 ermittelt. Für Camphen, Eucalyptol, Menthol und b-Myrcen wurden in der DB 3 höhere Maximalwerte genannt.

Insgesamt waren die Konzentrationen in den Geruchsgruppen sowie in der Gruppe ohne Geruch ähnlich.

5.2.7 Aldehyde

In dieser Gruppe wurden 46 Verbindungen erfasst. Für 13 Einzelverbindungen lagen keine Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze vor. Das Stoffspektrum der DB 3 wurde gegenüber den Altdaten u.a. um weitere ungesättigte Aldehyde erweitert.

Für Formaldehyd wurden in der Geruchsgruppe der DB 3 höhere P 90 und P 95 Werte im Vergleich zu den Gruppen mit und ohne Geruch der DB 1 und 2 ermittelt. Der P 90 lag mit 88,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ noch unterhalb des Richtwertes I, der P 95 mit 167,2 deutlich darüber. Acetaldehyd und Propanal wurden in der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze und in höheren Konzentrationen ermittelt als in der DB 3. Für n-Hexanal wurden für die Geruchsfälle der Altdaten höhere Perzentile ermittelt.

Die Summe der Alkanale C_4 bis C_{11} , gemäß Summenrichtwert des AIR (Umweltbundesamt 2009), wurde in die DB 3 neu aufgenommen. Das 90. Perzentil in Höhe von 95,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ unterschreitet noch den Richtwert I, das 95. Perzentil liegt mit einem Wert von 108,5 leicht darüber.

Die Konzentrationen der höheren Aldehyde waren in den Geruchsgruppen überwiegend höher als in der Gruppe ohne Geruch.

Für Benzaldehyd wurden höhere Perzentile in der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 ermittelt. Für die DB 3 und die Gruppe ohne Geruch wurden ähnliche Perzentile ermittelt. Für Furfural wurden in beiden Geruchsgruppen höhere Konzentrationen als in der Gruppe ohne Geruch ermittelt.

Für ungesättigte Aldehyde - mit Ausnahme von 2-Butenal - wurden in der DB 3 deutlich mehr Messwerte und höhere Konzentrationen genannt. Tendenziell wurden in der Gruppe ohne Geruch ungesättigte Aldehyde weniger häufig und in geringeren Konzentrationen nachgewiesen.

5.2.8 Ketone

Es wurden 28 Einzelstoffe untersucht, davon blieben bei 10 Verbindungen alle Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze. Neu aufgenommen wurden u.a. 6-Methylhept-5-en-2-on, 2,5-Hexandion und 1-Hydroxyaceton.

Einige Ketone, wie z.B. Aceton, Methylpropylketon, Methylbutylketon, 2-Heptanon, 3-Heptanon und Cyclohexanon erreichten in der DB 3 hohe Maximalwerte. Acetophenon wurde häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze und in höheren Konzentrationen innerhalb der Geruchsfälle der Altdaten nachgewiesen. Für Cyclohexanon wurden in der DB 3 höhere Konzentrationen ermittelt.

Ketone wurden in der Gruppe ohne Geruch überwiegend in niedrigeren Konzentrationen als in den Gruppen mit Geruch nachgewiesen.

5.2.9 Ester ein- und zweiwertiger Alkohole

Von den 61 in der Liste aufgeführten Einzelsubstanzen wurden 25 Verbindungen bei keiner Messung oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. In die DB 3 wurden u.a. die Dicarbonsäureester Diisobutylsuccinat und Diisobutylglutarat neu aufgenommen. Für einige Ester, wie für Isopropylacetat, n-Butylacetat und Isobutylacetat, wurden in der Geruchsgruppe der DB 3 hohe Maximalwerte genannt. Für Methacrylsäuremethylester lag ein hoher Maximalwert in der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 vor.

In der der DB 3 wurden höhere Perzentile für Propylenglykolmonomethyletheracetat und Diethylenglykolmonobutyletheracetat genannt.

In der Geruchsgruppe der Altdaten lagen die Konzentrationen überwiegend über der DB 3 und der Gruppe ohne Geruch.

Für Ethylacetat, n-Butylacetat und Texanol, die in der DB 1 und 2 bei den Geruchsfällen gegenüber der Gruppe ohne Geruch mit deutlich höheren Perzentilen ermittelt wurden, lagen die Perzentile in der Geruchsgruppe der DB 3 unter den Perzentilen der Gruppe ohne Geruch.

5.2.10 Mehrwertige Alkohole und deren Ether (Glykole und Glykolether)

Insgesamt wurden 44 Verbindungen in dieser Gruppe genannt, davon blieben 20 Verbindungen u.a. die Verbindungen, die neu aufgenommen wurden, ohne Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze. Am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen nachgewiesen wurden Ethylenglykolmonobutylether und 1,2-Propylenglykolmonomethylether. 34 der untersuchten Glykolverbindungen wurden nicht oder in weniger als 10 % der Messungen über der Bestimmungsgrenze bestimmt.

Die Konzentrationen für Glykole und Glykolether waren in der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 bis auf einige Ausnahmen überwiegend höher.

In der DB 3 wurden für Ethylenglykol, Diethylenglykol, Dipropylenglykol und 1,2-Propylenglykolmonomethylether höhere Maximalwerte genannt. Für die häufig vorkommenden Glykole Ethylenglykolmonobutylether und 1,2-Propylenglykolmonomethylether wurden gegenüber den Altdaten mit und ohne Geruch in der DB 3 höhere Perzentile genannt.

In der Mehrzahl der Fälle liegen die Perzentile P90 und P95 in der Geruchsgruppe leicht über den Perzentilen der Gruppe ohne Geruch.

5.2.11 Siloxane

Untersucht wurden 8 Siloxane, von denen Hexamethylcyclotrisiloxan (D3), Octamethylcyclotetrasiloxan (D4), Decamethylcyclopentasiloxan (D5) am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen in der Raumluft nachgewiesen wurden.

Für die Siloxane D3, D4 und D5 wurden in der DB 3 höhere Konzentrationen erfasst.

Auch wenn das Vorkommen der Siloxane eher als geruchsunspezifisch einzustufen ist, wurden in den Gruppen mit Geruch höhere Konzentrationen als in der Gruppe ohne Geruch ermittelt.

5.2.12 Organische Säuren

Es wurden 18 Alkansäuren untersucht, zu denen bis auf die neu aufgenommene Dekansäure auch Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze geliefert wurden. Neu aufgenommen wurde auch Ameisensäure.

Am häufigsten und mit den höchsten Konzentrationen nachgewiesen wurde Essigsäure. Es wurde ein Maximalwert in Höhe von $806 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt. Die Perzentile P 90 und P 95 liegen unter den Werten der Geruchsgruppe DB 1 und 2. Für Propionsäure und n-Butansäure erreichten die Perzentile in der DB 3 höhere Werte, für n-Hexansäure geringere.

Die Konzentrationen für Alkansäuren waren in den Gruppen mit Geruch überwiegend höher als in der Gruppe ohne Geruch.

5.2.13 Sonstige Verbindungen

In diese Gruppe wurde eine Vielzahl neuer Stoffe aufgenommen. Hierzu gehören u.a.: Nikotinabbauprodukte, Oxime, Butyrolacton sowie N haltige Verbindungen wie z.B. Amide. Auch Ammoniak wurde in dieser Gruppe ergänzt. Insgesamt umfasst die Gruppe 46 Einzelverbindungen, von denen 26 nur selten – in weniger als 10 Fällen – und 27 Verbindungen nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurden.

Auch die 10 am häufigsten gemessenen Verbindungen wurden vergleichsweise selten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Der häufigste Nachweis oberhalb der Bestimmungsgrenze für die Gruppe der Verbindungen mit einer Fallzahl $n > 100$ lag bei 30,3 % für 2-Methylfuran. Die höchsten Perzentilwerte P90 und P95 wurden für 2-Butanonoxim berechnet. Das 95. Perzentil lag bei $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der Maximalwert erreichte $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es wurden in ca. 2 % der Fälle der Richtwert I des AIR in von Höhe von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und in Einzelfällen auch der Richtwert II in Höhe von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten.

Für Ammoniak lagen insgesamt 3 Messwerte vor, davon ein Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenzen sowie innerhalb der Geruchsgruppe eine Einzelmessung mit $144 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und eine weitere Messung in der Gesamtgruppe mit $1930 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Für Nikotin wurden insgesamt drei Messwerte genannt, wovon innerhalb der Geruchsgruppe mit zwei Messwerten nur ein Messwert in Höhe von $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oberhalb der Bestimmungsgrenze lag und in der Gesamtgruppe ein weiterer Wert mit $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ genannt wurde.

Für Dimethylformamid wurde mit $190,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ein hoher Einzelwert ermittelt.

In der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 wurden höhere Perzentile für Benzothiazol ermittelt. Die Perzentilwerte der DB 3 waren vergleichbar mit den Perzentilen der Gruppe DB 1 und 2 ohne Geruch. Für 2-Butanonoxim und Caprolactam wurden in der DB 3 ebenfalls niedrigere Konzentrationen bestimmt.

Für 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on wurden in der DB 3 höhere Konzentrationen als in den Gruppen mit und ohne Geruch der DB 1 und 2 genannt.

Für die Schwefelverbindungen **Dimethyldisulfid** ($n = 10$) und **Dimethylsulfoxid** ($n = 10$) lagen in der Geruchsgruppe der DB 3 bei geringer Fallzahl deutlich höhere Messwerte vor als in der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 bzw. in der Gruppe ohne Geruch.

In der DB 3 lagen keine Messwerte für die geruchsintensiven Verbindungen Indol und 3-Methylindol (Skatol) vor.

5.2.14 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und ähnliche Verbindungen

Für die DB 3 wurden im Rahmen der VOC-Messungen auch Konzentrationen für 10 weitere flüchtige PAK angegeben. In diese Gruppe eingeordnet wurden Dimethyl- und Ethylnaphthaline sowie Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren und Dibenzo(a,h)anthracen.

Die Fallzahlen für PAK sind niedriger als für die regelmäßig gemessenen VOC. Sie liegen bei < 200 bzw. für Alkylnaphthaline <40. Alkylnaphthaline wurden in 44 bis 82 % der Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Für Dibenzo(a,h)anthracen wurde nur ein Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenze genannt. Die Konzentrationen der übrigen PAK lagen in 4 bis 26 % oberhalb der Bestimmungsgrenze. Die Konzentrationen der untersuchten flüchtigen PAK sind überwiegend <1 µg/m³.

Für die genannten flüchtigen PAK liegen keine Vergleichswerte aus der DB 1 und 2 vor.

5.2.15 Flammschutzmittel auf der Basis von Phosphorsäureestern

Die Stoffliste umfasst die drei phosphororganischen Flammschutzmittel Triethylphosphat, Tributylphosphat und Tris(2-chlorethyl)phosphat. Es wurden nur wenige Messwerte für diese Flammschutzmittel genannt. Bei diesen Untersuchungen wurden die genannten Flammschutzmittel nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

5.2.16 TVOC

Von den verschiedenen, laborspezifisch ausgewerteten Summenwerten wurde nur der TVOC (TVOC Gesamtsumme), der durch Aufsummieren der substanzspezifisch quantifizierten Substanzen und der zusätzlichen Verbindungen, die über den Responsefaktor von Toluol quantifiziert wurden, im Retentionszeitbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadekan berechnet wurde, betrachtet.

Leider wurde nicht zu jedem VOC-Messdatensatz ein TVOC-Wert geliefert. Insgesamt lagen 171 TVOC-Werte vor. Davon entfielen 150 auf Geruchsfälle. Bei den nicht primär Geruch-veranlassten Messungen handelt es sich um Wiederholungsmessungen, Sanierungskontrollmessungen oder Abnahmemessungen im Zusammenhang mit Geruchsbeschwerdefällen.

Die TVOC-Werte der Gesamtgruppe liegen unter den TVOC-Werten für die Geruchsgruppe der DB 3. Die TVOC-Werte der Geruchsgruppe liegen mit einem P 90 in Höhe von 2204 µg/m³ und einem P 95 in Höhe von 3000 µg/m³ wiederum deutlich über den TVOC-Werten der Geruchsgruppe der DB 1 und 2 sowie Gruppe ohne Geruch (Tabelle 16).

Tabelle 16: Vergleich der statistischen Kennwerte für den TVOC zwischen den Teilgruppen DB 1 und 2 Gesamt, Geruch ja, Geruch nein und DB 3 Gesamt, DB 3 Geruch ja.

n = Stichprobengröße, P50 = 50. Perzentil, P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil, Max = höchster Wert der Verteilung.

| Teilgruppen | n | P50 µg/m ³ | P90 µg/m ³ | P95 µg/m ³ | Max µg/m ³ |
|------------------------|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| DB 1 und 2 Gesamt | 2505 | 360 | 1.572 | 2.398 | 27.520 |
| DB 1 und 2 Geruch ja | 349 | 350 | 1.460 | 2.060 | 7.700 |
| DB 1 und 2 Geruch nein | 338 | 270 | 957,2 | 1.630 | 5.600 |
| DB 3 Gesamt | 171 | 450 | 1.800 | 2.830 | 19.000 |
| DB 3 Geruch ja | 150 | 400 | 2.204 | 3.000 | 19.000 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

5.2.17 Stoffliste

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Perzentilwerte P90 und P95 im Vergleich für die Gruppen Geruch ja DB 1 und 2, Geruch ja DB 3 und Geruch nein DB 1 und 2 für ausgewählte Parameter (Einzelstoffe und Summenwerte).

Tabelle 17: Vergleich der Stoffkonzentrationen ausgewählter Stoffe zwischen den Teilgruppen DB 1 und 2 Geruch ja, DB 3 Geruch ja und DB 1 und 2 Geruch nein.

P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil. Auffällig höhere Werte für die jeweiligen Perzentile sind durch Fettdruck hervorgehoben. Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

| Stoffe | DB 1 und DB 2 Geruch ja P90 | DB 1 und DB 2 Geruch ja P95 | DB 3 Geruch ja P90 | DB 3 Geruch ja P95 | DB 1 und DB 2 Geruch nein P90 | DB 1 und DB 2 Geruch nein P95 |
|-----------------------|---|---|-----------------------------|-----------------------------|---|---|
| n-Undecan | 12,8 | 26,7 | 18,0 | 25,7 | 11,1 | 21,1 |
| Cyclopentan | 7,0 | 11,8 | 6,5 | 17,3 | 2,5 | 4,5 |
| 1-Hepten | 2,3 | 4,0 | <BG | <BG | 2,0 | 3,0 |
| Dodecen-Isomergemisch | - | - | 249,6 | 279,4 | - | - |
| Trimeres Isobuten | <BG | 1,0 | <BG | <BG | <BG | 1,0 |
| 4-Vinylcyclohexen | <BG | <BG | <BG | <BG | <BG | <BG |
| 4-Phenylcyclohexen | <BG | <BG | <BG | <BG | <BG | <BG |
| Toluol | 30,0 | 46,0 | 16,7 | 27,0 | 21,1 | 35,6 |
| m,p-Xylol | 13,7 | 31,6 | 14,0 | 30,4 | 12,8 | 32,0 |
| o-Xylol | 5,0 | 11,0 | 7,1 | 14,0 | 5,0 | 10,1 |
| 2-Ethyltoluol | 2,0 | 4,0 | 5,9 | 29,8 | 1,7 | 4,0 |
| 1,2,4-Trimethylbenzol | 7,0 | 16,0 | 25,0 | 123,1 | 6,0 | 18,1 |
| Styrol | 9,0 | 20,0 | 11,6 | 18,3 | 8,0 | 15,0 |
| Phenol | 3,0 | 4,8 | 2,2 | 5,6 | 3,0 | 3,7 |
| m/p-Kresol | 2,9 | 9,7 | <BG | 0,5 | <BG | 0,5 |
| Naphthalin | 3,0 | 6,1 | 8,7 | 18,0 | 1,0 | 2,1 |
| 1-Methylnaphthalin | 0,5 | 1,2 | 1,3 | 2,5 | 0,4 | 0,6 |
| 2-Methylnaphthalin | 0,9 | 1,9 | 2,3 | 5,2 | 0,5 | 1,0 |
| Indan | 1,0 | 2,0 | 2,7 | 10,9 | <BG | 1,0 |
| 1,4-Dichlorbenzol | <BG | 1,0 | <BG | <BG | <BG | <BG |
| 1-Propanol | 16,2 | 46,6 | 10,7 | 20,6 | 30,0 | 38,9 |
| 2-Propanol | 100,0 | 140,0 | 56,5 | 112,1 | 77,0 | 129,0 |
| 1-Butanol | 37,0 | 62,6 | 51,5 | 59,0 | 27,6 | 40,0 |
| 2-Ethyl-1-hexanol | 17,0 | 23,0 | 23,4 | 40,3 | 14,0 | 45,5 |
| Σ Isononanole | - | - | 280,4 | 305,2 | - | - |
| Benzylalkohol | 6,0 | 18,6 | 2,0 | 3,8 | 2,0 | 4,0 |
| α -Pinen | 88,3 | 166,9 | 55,7 | 137,0 | 62,5 | 162,5 |

| Stoffe | DB 1 und DB 2 Geruch ja P90 | DB 1 und DB 2 Geruch ja P95 | DB 3 Geruch ja P90 | DB 3 Geruch ja P95 | DB 1 und DB 2 Geruch nein P90 | DB 1 und DB 2 Geruch nein P95 |
|--|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| Δ-3-Caren | 52,8 | 103,6 | 28,4 | 47,0 | 25,0 | 70,4 |
| Longifolen | 3,0 | 4,2 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0 |
| α-Terpineol | 1,0 | 2,0 | <BG | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| Formaldehyd | 72,0 | 100,4 | 88,1 | 167,2 | 86,5 | 129,8 |
| Acetaldehyd | 66,0 | 80,6 | 42,2 | 49,9 | 45,0 | 54,8 |
| n-Pentanal | 27,0 | 37,4 | 22,9 | 39,9 | 14,0 | 22,9 |
| n-Hexanal | 78,9 | 121,0 | 47,2 | 79,4 | 37,4 | 57,0 |
| n-Nonanal | 23,0 | 31,0 | 21,7 | 27 | 19,0 | 26,8 |
| Summe Alkanale C ₄ -C ₁₁ | - | - | 95,1 | 108,5 | - | - |
| Benzaldehyd | 19,0 | 42,0 | 14,0 | 18,3 | 11,0 | 17,0 |
| Furfural | 5,0 | 7,9 | 6,0 | 8,0 | 3,0 | 4,2 |
| Cyclohexanon | 5,0 | 8,7 | 6,5 | 13,4 | 3,0 | 5,0 |
| Acetophenon | 5,0 | 10,0 | 3,3 | 4,6 | 4,0 | 5,6 |
| n-Butylacetat | 19,0 | 43,0 | 12,0 | 24,5 | 13,0 | 25,5 |
| Methacrylsäuremethylester | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 2,2 | <BG | 1,0 |
| Texanol | 4,0 | 10,7 | <BG | 1,0 | 1,0 | 2,9 |
| Ethylenglykolmonobutylether | 9,0 | 14,0 | 13,0 | 34,5 | 8,0 | 17,0 |
| 1,2 Propylenglykolmonomethylether | 11,0 | 18,0 | 49,3 | 137,3 | 10,0 | 18,6 |
| Hexamethylcyclotrisiloxan (D3) | 11,0 | 22,1 | 36,4 | 54,4 | 6,0 | 8,0 |
| Decamethylcyclopentasiloxan (D5) | 19,0 | 33,0 | 24,0 | 43,2 | 22,8 | 41,7 |
| Essigsäure | 133,0 | 190,0 | 95,0 | 140,0 | 71,2 | 92,1 |
| Propionsäure | 7,0 | 11,0 | 12,4 | 22,2 | 6,3 | 13,0 |
| n-Butansäure | 2,0 | 3,3 | 2,5 | 5,0 | 1,0 | 2,0 |
| Benzothiazol | 2,0 | 5,0 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 2,0 |
| Dimethylsulfid | 0,8 | 1,7 | 83,1 | 196,1 | 0,6 | 0,7 |
| Dimethylsulfoxid | <BG | <BG | 153,1 | 288,6 | <BG | <BG |
| TVOC | 1460 | 2060 | 2204 | 3000 | 957,2 | 1630 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

5.3 Vergleich der VOC-Konzentrationen für verschiedene Geruchsintensitätsgruppen (Geruchsintensität < 3 und ≥ 3)

Um zu prüfen, ob Unterschiede bei den VOC-Konzentrationen je nach Höhe der Geruchsintensität im Raum vorliegen, wurde die statistischen Kenndaten der Teilgruppen Geruchsintensität < 3 und Geruchsintensität ≥ 3 vergleichend betrachtet. Die maximale Fallzahl liegt in der Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 bei 148 und in der Gruppe Geruchsintensität < 3 bei 114. Es sollte geprüft werden, ob und für welche Stoffe sich die Perzentile P 90 und P 95 in den beiden Gruppen unterscheiden.

In der Tabelle 3 im Anhang Teil B sind statistische Kenndaten mit Angaben zur Stichprobengröße, % >BG, Median, 90. Perzentil und 95. Perzentil für die vollständige Substanzliste aufgeführt.

In der Tabelle 18 sind die Perzentile P 90 und P 95 für ausgewählte Verbindungen vergleichend dargestellt.

Für Alkane wurden in der Teilgruppe Geruchsintensität ≥ 3 überwiegend höhere 90 und 95 Perzentilwerte ermittelt. Auch aromatische Verbindungen wurden in der Teilgruppe mit höherer Geruchsintensität in höheren Konzentrationen bestimmt. Halogenierte Kohlenwasserstoffe wurden insgesamt selten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Bei den Alkoholen wurden für 2-Propanol in der Gruppe Geruchsintensität < 3 höhere Perzentile ermittelt. Auch für Isononanole wurden höhere Konzentrationen bei geringer Fallzahl in der Gruppe Geruchsintensität < 3 bestimmt. Für die übrigen Alkohole wurden in den Räumen mit einer Geruchsintensität ≥ 3 höhere Konzentrationen bestimmt. Für Terpene wurden in der Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 überwiegend etwas höhere Konzentrationen ermittelt. Bei Limonen lag ein höherer 95 Perzentilwert in der Gruppe Geruchsintensität < 3 vor. Für Aldehyde wurden ebenfalls in der Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 höhere Konzentrationen gemessen. Die Summe der Aldehyde C₄ bis C₁₁ ergab allerdings bei geringerer Fallzahl höhere Perzentile in der Gruppe Geruchsintensität < 3. Ketone und Ester wurden in Räumen mit einer Geruchsintensität ≥ 3 häufiger und in höheren Konzentrationen nachgewiesen. Bei den mehrwertigen Alkoholen und deren Ethern traten einige Verbindungen in der Gruppe Geruchsintensität < 3 häufiger und in höheren Konzentrationen auf. Siloxane wurden überwiegend in der Gruppe Geruchsintensität < 3 in höheren Konzentrationen gemessen. Während für Essigsäure in der Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 höhere 90 und 95 Perzentilwerte ermittelt wurden, sind die Perzentile für Propionsäure und n-Butansäure in der Gruppe Geruchsintensität < 3 höher. Sonstige Verbindungen wurden überwiegend häufiger und in höheren Konzentrationen in der Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 nachgewiesen. Für einige geruchsrelevante Verbindungen wie Ammoniak, Nikotin und Nikotinabbauprodukte liegen nur für die Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 Messwerte vor. Hohe Konzentrationen wurden für Dimethylsulfid und Dimethylsulfoxid in der Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 genannt.

Die Perzentile für die Gesamtsumme der identifizierten und nicht identifizierten Verbindungen innerhalb des Retentionsbereichs C₆ bis C₁₆ (TVOC) sind in der Gruppe Geruchsintensität ≥ 3 deutlich höher. Die komplett über Toluol quantifizierten TVOC-Werte liegen weit unter dem TVOC mit überwiegend substanzspezifisch quantifizierten Konzentrationen.

Tabelle 18: Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Lüftungsbedingungen „Geruchsintensität ≥ 3 “ und „Geruchsintensität < 3 “.

P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil. Auffällig höhere Werte für die jeweiligen Perzentile sind durch Fettdruck hervorgehoben. Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

| Stoffe | Geruchs- intensität ≥ 3 P90 | Geruchs- intensität ≥ 3 P95 | Geruchs- intensität < 3 P90 | Geruchs- intensität < 3 P95 |
|--|---|---|--|--|
| n-Hexan | 3,9 | 8,0 | 3,1 | 10,1 |
| n-Undekan | 22,0 | 73,0 | 6,0 | 9,1 |
| Cyclohexan | 3,0 | 8,1 | 2,9 | 5,2 |
| Benzol | 3,0 | 4,4 | 1,8 | 2,7 |
| Toluol | 22,0 | 30,3 | 12,0 | 15,5 |
| m,p-Xylol | 25,5 | 74,3 | 12,6 | 17,8 |
| 2-Ethyltoluol | 9,8 | 28,0 | 3,7 | 10,8 |
| 1,2,4-Trimethylbenzol | 42,2 | 148,0 | 18,0 | 56,3 |
| Styrol | 17,4 | 28,7 | 6,9 | 10,4 |
| Phenol | 2,2 | 5,6 | 2,0 | 2,5 |
| Naphthalin | 14,9 | 24,9 | 1,5 | 4,6 |
| 2-Methylnaphthalin | 3,6 | 6,3 | 0,7 | 1,0 |
| Σ Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen | 42,9 | 68,9 | 6,0 | 10,7 |
| 2-Propanol | 54,0 | 86,1 | 58,2 | 115,6 |
| 1-Butanol | 56,0 | 65,8 | 34,1 | 39,5 |
| 2-Ethyl-1-hexanol | 27,0 | 41,2 | 10,1 | 19,1 |
| Σ Isononanole | 111,0 | 115,4 | 317,6 | 323,8 |
| Benzylalkohol | 2,0 | 8,7 | 2,0 | 7,3 |
| α -Pinen | 55,0 | 140,0 | 33,8 | 93,9 |
| Δ -3-Caren | 29,2 | 47,5 | 13,5 | 32,4 |
| Limonen | 24,0 | 36,0 | 19,9 | 43,7 |
| Formaldehyd | 88,4 | 169,1 | 37,8 | 45,2 |
| n-Pentanal | 29,4 | 53,6 | 13,6 | 21,4 |
| n-Hexanal | 67,2 | 116,5 | 29,9 | 39,8 |
| Σ Alkanale C ₄ bis C ₁₁ | 53,0 | 69,2 | 107,9 | 119,5 |
| Furfural | 6,0 | 9,7 | 3,0 | 7,0 |

| Stoffe | Geruchs- intensität ≥ 3 P90 | Geruchs- intensität ≥ 3 P95 | Geruchs- intensität < 3 P90 | Geruchs- intensität < 3 P95 |
|--------------------------------|--|--|---|---|
| Methylethylketon | 35,0 | 67,0 | 19,2 | 40,5 |
| Cyclohexanon | 9,9 | 19,3 | 2,3 | 3,0 |
| Acetophenon | 4,0 | 6,0 | 2,1 | 3,0 |
| n-Butylacetat | 15,0 | 30,0 | 6,2 | 10,2 |
| Triacetin | <BG | 36,7 | <BG | <BG |
| Ethylenglykolmonobutylether | 13,7 | 48,8 | 16,8 | 34,7 |
| Ethylenglykolmonophenylether | 4,6 | 8,1 | 15,0 | 18,0 |
| Diethylenglykolmonoethyl ether | 2,0 | 6,9 | 3,1 | 13,8 |
| Diethylenglykolmonobutyl ether | 8,6 | 14,4 | 8,1 | 16,1 |
| Siloxan D5 | 23,2 | 30,3 | 36,7 | 96,1 |
| Essigsäure | 105,8 | 147,5 | 83,1 | 94,6 |
| Propionsäure | 10,3 | 17,0 | 12,9 | 31,7 |
| n-Butansäure | 2,5 | 3,0 | 3,6 | 5,1 |
| 2-Butanonoxim | 2,0 | 8,5 | 1,6 | 10,6 |
| Caprolactam | 2,0 | 4,0 | 3,0 | 4,6 |
| 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on | 2,5 | 3,7 | 1,0 | 1,4 |
| Benzothiazol | <BG | 2,0 | <BG | 1,8 |
| Dimethylsulfid | 158,4 | 233,7 | 0,1 | 0,1 |
| Dimethylsulfoxid | 243,4 | 333,7 | <BG | <BG |
| TVOC | 2480 | 3312 | 1023 | 1155 |
| TVOC Toluol | 1260 | 2030 | 312 | 424 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

5.4 Konzentration von Geruchsstoffen und Geruchsintensität

Es wird erwartet, dass mit steigenden Konzentrationen geruchsbildender VOC in Innenräumen die sensorische Bewertung der Raumluft zu einer höheren Geruchsintensität führt. Für Naphthalin beispielsweise können in der Praxis bei vergleichbarer Quellsituation durch erfahrene Prüferinnen und Prüfer vergleichsweise gute Abschätzungen hinsichtlich der zu erwartenden Konzentrationen getroffen werden.

Die Auswertungen von Thumulla ergaben in einem Schadensfall mit verschiedenen Geruchsstoffen u.a. Bromphenol in den Räumen mit der als Geruchsquelle identifizierten Auslegeware (textile Fliesen mit Schwerbeschichtung) eine sehr gute Korrelation zwischen sensorischen und analytischen Verfahren. Wobei hier der prozentuale Anteil der mit dem Umgebungszustand unzufriedenen Personen einer Testgruppe (PD-Wert) mit den aufsummierten Geruchswerten korreliert wurden. Die Geruchswerte wurden aus den Summen der Quotienten der Raumluftkonzentrationen dividiert durch die jeweiligen Geruchsschwellenwerte ermittelt (Thumulla 2010).

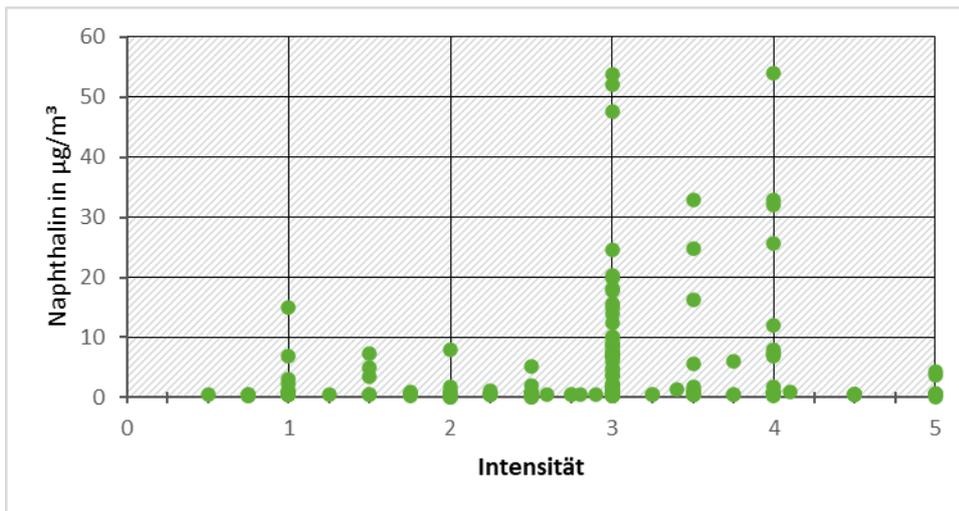
Ein Vergleich olfaktometrischer und chemischer Untersuchungen ergab dagegen für Phenol und Kresole keinen bzw. einen schwach positiven Zusammenhang zwischen der Konzentration von Phenol und m-/p-Kresol und der Geruchsintensität. Ähnlich hohe Raumluftkonzentrationen wurden in ihrer Geruchsintensität unterschiedlich bewertet. Auch für die untersuchten Materialproben Tapete, Estrich und Bodenbelag (PVC) wurde lediglich bei der Tapete ein Trend für eine steigende Geruchsintensität mit Zunahme der Phenol- und Kresolkonzentrationen beobachtet (Clemens-Ströwer 2013).

Für Naphthalin und andere ausgewählte Verbindungen, die in Innenräumen zu Geruchsbeschwerden führen können, wurde geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen der Geruchsintensität und der Raumluftkonzentration besteht.

Die Auswertung der Geruchsdaten aus der Datenbank für Naphthalin zeigt dagegen eine geringe Korrelation zwischen der Konzentration und der Geruchsintensität oder der Hedonik. Insgesamt wurden für Naphthalin 267 Messwerte angegeben, zu denen in 266 Fällen eine Bewertung der Geruchsintensität gemacht wurde und in 92 Fällen auch Angaben zur Hedonik vorlagen. Von den 267 Messwerten liegen 104 Messwerte über der Bestimmungsgrenze und 55 Messwerte bei $\geq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Geruchswahrnehmungsschwelle (ODT 50) für Naphthalin wird von Lisow 2015 mit $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben (Lisow 2015).

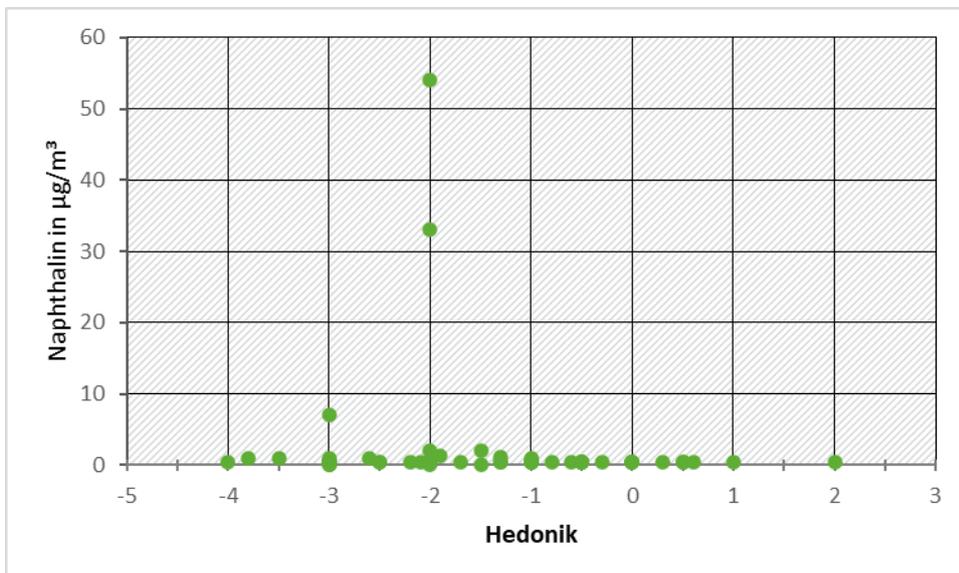
Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Zusammenhang zwischen den Konzentrationen für Naphthalin und der Geruchsintensität (Abbildung 30) bzw. der Hedonik (Abbildung 31).

Abbildung 30: Konzentrationen für Naphthalin und Angaben zur Intensität



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 31: Konzentrationen für Naphthalin und Angaben zur Hedonik

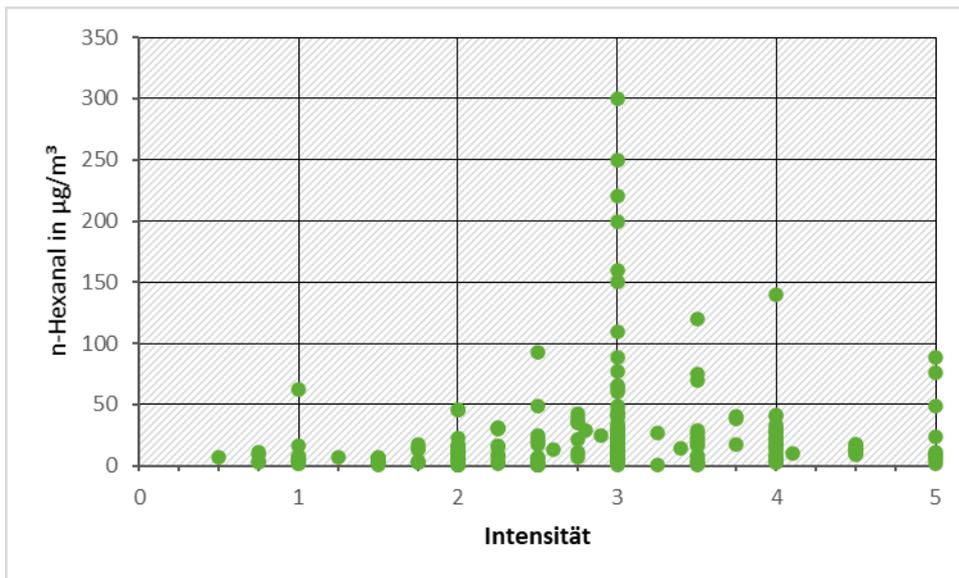


Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Die Darstellungen zeigen, dass sowohl für die Intensität als auch die Hedonik unabhängig von der Höhe der Naphthalinkonzentration in der Raumluft über den gesamten Bereich der Bewertungsskalen verteilte sensorische Bewertungen vorliegen. Bei hohen Naphthalinkonzentrationen finden sich überwiegend Bewertungen der Geruchsintensität von ≥ 3 und der Hedonik von ≤ -2 . Ein linearer Zusammenhang zwischen der Konzentration und der Intensität bzw. Hedonik, wie er sich in der Einzelfallbetrachtung ergeben kann, ist nicht erkennbar.

Für Hexanal können 267 Angaben zur Raumluftkonzentration und Geruchsintensität betrachtet werden. Die nachfolgende Abbildung 32 zeigt die ermittelten Werte. Bei den höchsten Hexanal-Konzentrationen wurde die am häufigsten genannte Geruchsintensität 3 (deutlicher Geruch) angegeben. Die Verknüpfung von hohen Hexanal-Konzentrationen mit einer höheren Geruchsintensität ist für Hexanal weniger deutlich ausgeprägt als für Naphthalin.

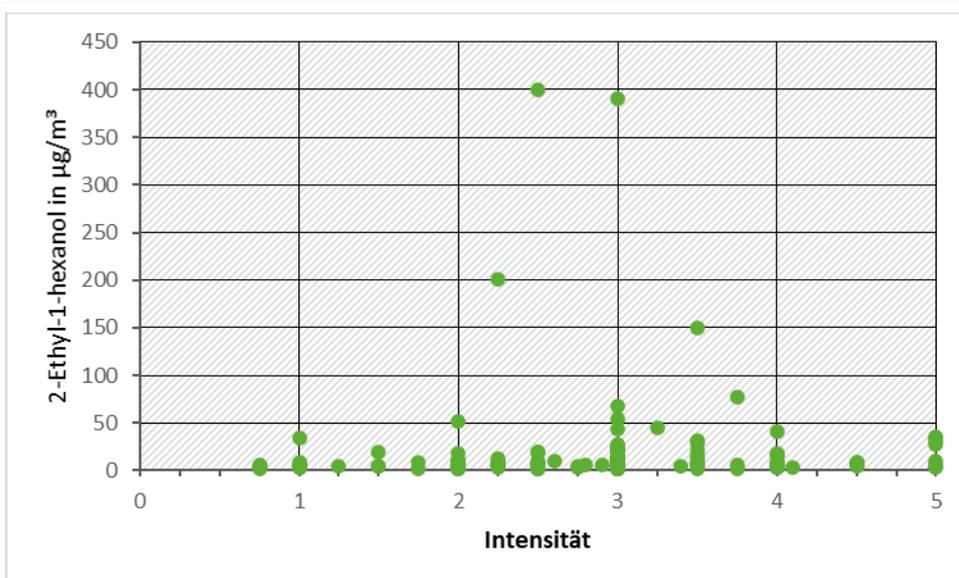
Abbildung 32: Konzentrationen für Hexanal und Angaben zur Intensität



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Wie die Abbildung 33 zeigt, finden sich auch für 2-Ethylhexanol - bei 173 Konzentrationsangaben und Nennungen der Geruchsintensität - für die hohen Konzentrationen überwiegend mittlere Geruchsintensitätsangaben auch unterhalb von 3.

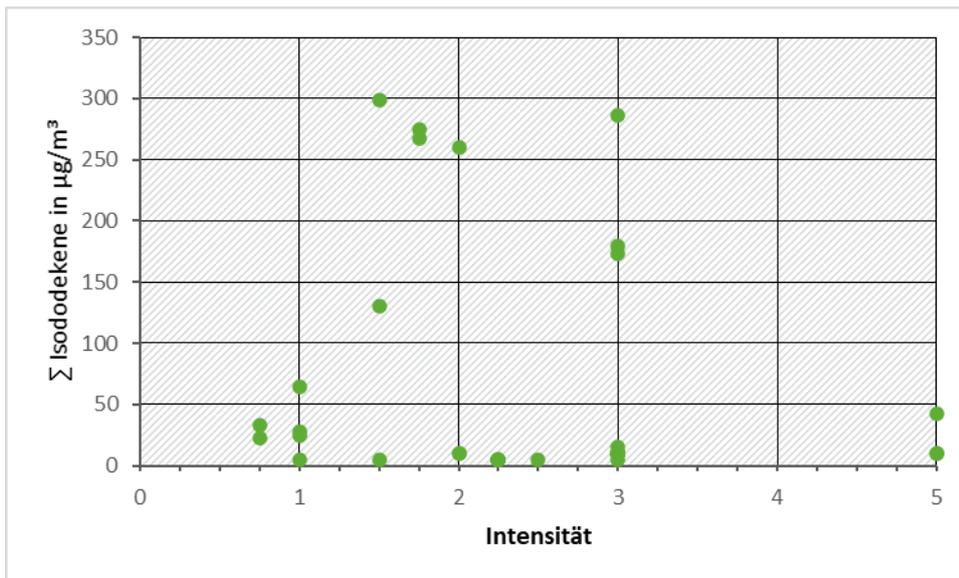
Abbildung 33: Konzentrationen für 2-Ethylhexanol und Angaben zur Intensität



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Für die Summe der Isododecene wurden nur 34 Konzentrationsangaben mit Geruchsbewertung abgegeben. Wie die Abbildung 34 zeigt wurden hohe Konzentrationen für Isododecene häufiger mit einer Geruchsintensität zwischen 1 und 3 bewertet.

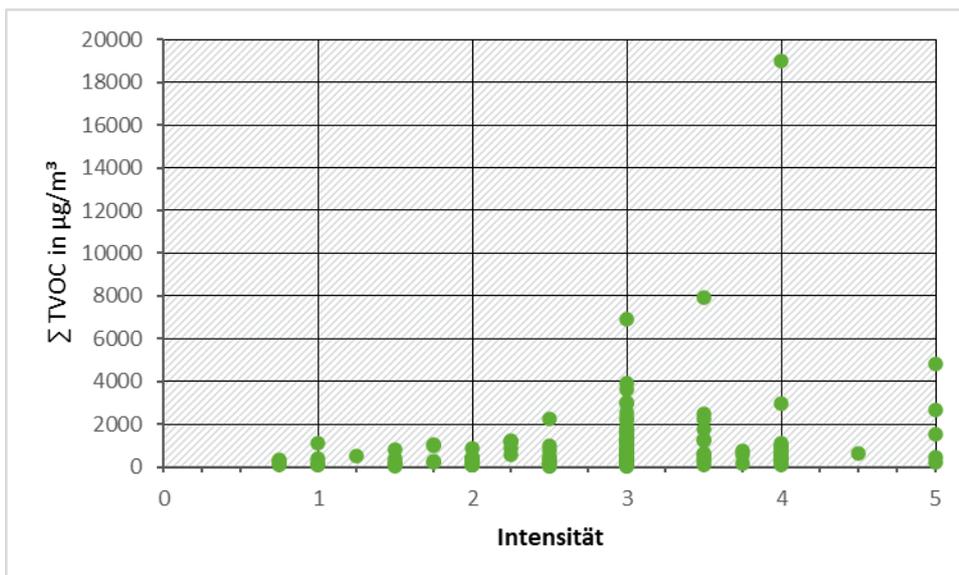
Abbildung 34: Konzentrationen für Isododecene und Angaben zur Intensität



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Die Abbildung 35 zeigt die in den untersuchten Räumen ermittelten TVOC-Werte mit der dazugehörigen Intensitätsbewertung (171 Wertepaare). Für Räume mit sehr hohen TVOC Summenwerten werden hohe Geruchsintensitäten genannt. Auch bei niedrigen TVOC-Werten kann eine hohe Geruchsintensität vorliegen.

Abbildung 35: TVOC-Konzentrationen und Angaben zur Intensität



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

5.5 Vergleich der VOC-Konzentrationen für die Raumnutzungsarten Büroraum, Klassenraum und Wohnraum

Für die dominierenden Raumnutzungen Büro (n=155), Klassenraum (n=54) und Wohnraum (n=53) werden die statistischen Kenndaten mit den Angaben zur Stichprobengröße, % >BG, Median, 90. Perzentil und 95. Perzentil für die vollständige Substanzliste im Anhang Teil B Tabelle 4 aufgeführt.

Die nachfolgende Tabelle 19 zeigt die 90. und 95. Perzentile für ausgewählte Stoffe bzw. Gemische vergleichend zwischen den Raumnutzungstypen, Büro, Klassenraum und Wohnraum.

Während die raumnutzungsbezogene Auswertung der DB 2 häufig höhere Perzentile für Klassenräume ergab, wurden bei der Auswertung der DB 3 in Klassenräumen für Einzelstoffe überwiegend niedrigere Konzentrationen ermittelt. Höhere Konzentrationen wurden in Klassenräumen mit Ausnahmen für Phenol, Σ Isononane, Benzylalkohol, Cyclohexanon, 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on, Benzothiazol und 2-Butanonoxim sowie die Mehrzahl der Glykolderivate festgestellt. Die Auswertung der TVOC Werte ergab für Klassenräume bei geringerer Fallzahl die höchsten Perzentile.

Wohnräume wiesen deutlich höhere Perzentile für Terpene, Essigsäure sowie einige Aromaten und einige Alkohole auf.

In den Büroräumen wurden höhere Konzentrationen für Isododecene, Naphthalin und Methylnaphthaline, Aldehyde, Methylethylketon, Acetophenon Propionsäure, n-Butansäure und Caprolactam gemessen. Formaldehyd wurde in Wohnräumen (höchster P 95) und Klassenräumen (höchster P 90) in höheren Konzentrationen als in Büroräumen nachgewiesen.

Es ist zu berücksichtigen, dass Stichproben für die Teilgruppen Klassenraum und Wohnraum deutlich kleiner sind.

Tabelle 19: Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum (WR), Büroraum (BR), Klassenraum (KR).

P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil. Die Maximalwerte pro Zeile sind fett markiert.

| Stoffe | WR P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | WR P95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | BR P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | BR P95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | KR P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | KR P95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Cyclohexan | 5,5 | 8,1 | 2,4 | 4,3 | 3,7 | 11,0 |
| Dodecen-Isomerenmischung | <BG | <BG | 280,5 | 289,0 | 92,0 | 132,3 |
| Benzol | 3,6 | 5,0 | 2,1 | 2,5 | 1,8 | 1,8 |
| Toluol | 16,5 | 29,5 | 17,8 | 25,7 | 8,4 | 9,5 |
| m,p-Xylol | 21,5 | 61,5 | 8,0 | 37,0 | 16,5 | 30,0 |
| 2-Ethyltoluol | 43,4 | 249,6 | 4,4 | 10,3 | 6,2 | 17,8 |
| 1,2,4-Trimethylbenzol | 138,5 | 799,0 | 23,0 | 44,2 | 24,5 | 70,8 |
| Styrol | 16,2 | 18,8 | 13,0 | 21,2 | 5,5 | 6,9 |
| Phenol | 1,5 | 2,1 | 2,0 | 2,2 | 7,0 | 19,2 |
| Naphthalin | 1,7 | 2,2 | 11,4 | 24,6 | 3,9 | 5,7 |
| 2-Methylnaphthalin | 0,5 | 0,7 | 2,9 | 6,2 | 1,0 | 1,4 |
| Σ Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen | 5,2 | 10,0 | 40,7 | 62,4 | 13,5 | 15,8 |
| 2-Propanol | 25,4 | 27,9 | 69,0 | 128 | 51,0 | 61,7 |
| 1-Butanol | 38,2 | 56,1 | 56,0 | 61,4 | 24,9 | 32,3 |
| 2-Ethyl-1-hexanol | 33,8 | 46,8 | 14,3 | 22,5 | 24,4 | 46,5 |

| Stoffe | WR P90 µg/m ³ | WR P95 µg/m ³ | BR P90 µg/m ³ | BR P95 µg/m ³ | KR P90 µg/m ³ | KR P95 µg/m ³ |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Σ Isononanole | - | - | 83 | 83 | 111,0 | 114,8 |
| Benzylalkohol | 4,2 | 51,1 | 1,0 | 2,3 | 44,0 | 69,6 |
| α-Pinen | 162,0 | 479,1 | 55,2 | 103,8 | 20,6 | 31,7 |
| Δ-3-Caren | 114,2 | 311,3 | 26,5 | 41,8 | 8,4 | 10,8 |
| Limonen | 43,6 | 60,5 | 23,2 | 33,8 | 9,2 | 13,0 |
| Formaldehyd | 124,0 | 188,0 | 70,2 | 79,1 | 174,0 | 184,7 |
| n-Pentanal | 13,4 | 29,4 | 23,0 | 40,2 | 6,5 | 7,9 |
| n-Hexanal | 30,6 | 67,7 | 47,5 | 89,0 | 20,6 | 26,6 |
| Furfural | 8,0 | 9,3 | 5,6 | 8,9 | 1,9 | 2,1 |
| Methylethylketon | 24,4 | 52,4 | 32,6 | 43,8 | 22,4 | 42,7 |
| Cyclohexanon | 3,1 | 4,9 | 5,2 | 11,6 | 8,5 | 13,0 |
| Acetophenon | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 3,2 | 4,0 |
| n-Butylacetat | 20,7 | 68,6 | 8,2 | 14,1 | 7,4 | 15,2 |
| Ethylenglykolmonobutylether | 7,3 | 9,7 | 13,0 | 36,8 | 14,0 | 60,5 |
| Ethylenglykolmonophenylether | 4,5 | 5,0 | 5,2 | 16,2 | 31,0 | 40,0 |
| Diethylenglykolmonoethylether | 1,8 | 2,3 | 1,5 | 2,0 | 33,2 | 60,2 |
| Diethylenglykolmonobutylether | 2,6 | 3,9 | 3,3 | 7,3 | 27,0 | 53,5 |
| Siloxan D5 | 24,0 | 31,1 | 22,0 | 63,3 | 17,8 | 19,4 |
| Essigsäure | 214 | 269,6 | 95 | 129 | 59,8 | 63,4 |
| Propionsäure | 9,2 | 11,8 | 17,0 | 31,5 | 7,0 | 9,6 |
| n-Butansäure | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 5,0 | 2,5 | 2,5 |
| Caprolactam | <BG | <BG | 3,4 | 4,9 | 1,3 | 2,0 |
| 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on | 0,5 | 0,6 | 1,3 | 1,5 | 3,7 | 4,1 |
| Benzothiazol | 0,8 | 1,2 | >BG | 0,7 | 5,6 | 6,8 |
| 2-Butanonoxim | 0,5 | 8,4 | 2,0 | 7,9 | 14,4 | 48,3 |
| TVOC | 2426 | 3228 | 1556 | 2508 | 4350 | 9925 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

5.6 Vergleich der VOC-Konzentrationen bei unterschiedlichen Lüftungsbedingungen

Bei höherer Luftwechselrate und nach der Durchführung einer Lüftungsmaßnahme wird im Allgemeinen eine Absenkung der VOC-Konzentrationen erwartet. Verglichen werden sollen hier die VOC-Konzentrationen bzw. ihre Verteilungen anhand der Perzentilwerte in Räumen während des Betriebs einer Lüftungsanlage oder 45 Minuten nach der Durchführung einer Stoßlüftung mit Räumen, die mindestens 8 Stunden nicht belüftet wurden.

In der Praxis kann die manuelle Belüftung von Räumen unterschiedliche Effekte auf die Geruchsbildung im Raum haben. Häufig wird von Betroffenen berichtet, dass störende Gerüche durch das Lüften gemindert werden können, allerdings meist ohne nachhaltige Wirkung. Das heißt, nach dem Schließen der Fenster stellt sich der Störgeruch sehr schnell wieder ein. Möglich ist auch, dass Gerüche erst durch die veränderte Strömung während des Lüftens im Raum wahrnehmbar werden oder aufgrund von Reaktionsprozessen im Zusammenwirken mit der Außenluft entstehen.

In den Objekten mit Lüftungsanlage wurde in der Regel bei Betrieb der Anlage gemessen (Nutzungsbedingungen RLT ein: 21 Fälle, 6,4 %). In 49 Fällen (14,9 %) erfolgte eine Nutzungssimulation entsprechend dem Nutzungsszenario für Schulen. In etwa 78 % der Fälle erfolgte die Probenahme nach einer Nichtbelüftung von mindestens 8 Stunden (Messung der Ausgleichskonzentration). Die Messungen unter Nutzungsbedingungen wurden häufiger bei hohen VOC-Konzentrationen durchgeführt, um die Einhaltung von Innenraumrichtwerten zu überprüfen.

Im Anhang Teil B sind ausgewählte, statistische Kennwerte für die Teilgruppen „ungelüftet“ (=Nichtbelüftung von mindestens 8 Stunden vor der Probenahme) und „gelüftet“ (= RLT ein oder Nutzungssimulation) aufgeführt.

Es wurden überwiegend deutlich niedrigere Konzentrationen in den „gelüfteten“ Räumen gemessen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Perzentile P90 und P95 für ausgewählte Stoffe für die beiden Teilgruppen „ungelüftet“ und „gelüftet“ vergleichend aufgeführt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Stichprobe für die Teilgruppe „gelüftet“ deutlich kleiner ist als die Teilgruppe „ungelüftet“.

Für höhere Alkane wurden in den gelüfteten Räumen niedrigere Konzentrationen gemessen.

Aufgrund der Schadensfälle unter Beteiligung von Aromaten wie m,p-Xylol, 1,2,4-Trimethylbenzol, Naphthalin und Methylnaphthaline mit hohen Konzentrationen wurden für diese Aromaten höhere Perzentile in der Teilgruppe „gelüftet“ ermittelt, da Messungen unter Nutzungsbedingungen häufiger in Räumen mit erhöhten VOC-Belastungen durchgeführt wurden.

Für Benzol wurden in den gelüfteten Räumen niedrigere Raumluftkonzentrationen ermittelt.

Für Alkohole wurden - bis auf Benzylalkohol mit hohen Perzentilen in den gelüfteten Räumen - in den ungelüfteten Räumen höhere Perzentilwerte ermittelt.

Für Terpene wurden überwiegend höhere Perzentile in den ungelüfteten Räumen bestimmt.

Das 90. Perzentil für Formaldehyd lag in beiden Teilgruppen „gelüftet“ und „ungelüftet“ bei $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In den ungelüfteten Räumen erreichte das 95. Perzentil $158 \mu\text{g}/\text{m}^3$ während es in den gelüfteten Räumen mit $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt wurde.

Für Ketone und Ester wurden ebenfalls überwiegend höhere Perzentile in den ungelüfteten Räumen bestimmt.

Für die Glykolverbindungen Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether wurden in der Gruppe „gelüftet“ höhere Perzentile ermittelt.

Für Siloxane und Alkansäuren waren die Konzentrationen in der Gruppe „ungelüftet“ überwiegend höher.

Bei den sonstigen Verbindungen wurden für einige Stoffe wie Caprolactam, Benzothiazol und 2-Butanonoxim in der Gruppe „gelüftet“ zum Teil höhere Perzentile bestimmt als in Gruppe „ungelüftet“.

Für den TVOC wurden in der Gruppe „ungelüftet“ bei einer Fallzahl von n=157 deutlich höhere Perzentile ermittelt. Das 90. Perzentil lag hier bei 2020 µg/m³. Für das 95. Perzentil wurden 3000 µg/m³ berechnet. In der Gruppe „gelüftet“ (n=14) lag das 90. Perzentil bei 962 µg/m³ und das 95. Perzentil bei 1184 µg/m³.

Tabelle 20: Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Lüftungsbedingungen „gelüftet“ und „ungelüftet“.

P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil. Die Maximalwerte pro Zeile sind fett markiert.

| Stoffe | gelüftet P90 µg/m ³ | gelüftet P95 µg/m ³ | ungelüftet P90 µg/m ³ | ungelüftet P95 µg/m ³ |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| n-Hexan | 2,0 | 2,0 | 4,2 | 11,0 |
| n-Undekan | 4,6 | 15,8 | 15,6 | 23,4 |
| Cyclohexan | 1,2 | 1,8 | 3,0 | 7,2 |
| Benzol | 1,0 | 1,1 | 2,5 | 4,0 |
| Toluol | 3,0 | 11,2 | 17,9 | 26,5 |
| m,p-Xylol | 28,2 | 50,8 | 15,6 | 38,7 |
| 2-Ethyltoluol | 8,3 | 10,8 | 6,0 | 28,2 |
| 1,2,4-Trimethylbenzol | 37,0 | 49,4 | 26,0 | 126,7 |
| Styrol | 6,6 | 14,4 | 13,0 | 20,8 |
| Phenol | 2,0 | 2,2 | 2,0 | 4,1 |
| Naphthalin | 17,7 | 32,4 | 4,4 | 9,2 |
| 2-Methylnaphthalin | 4,0 | 7,3 | 1,0 | 3,0 |
| ∑ Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen | 43,0 | 62,4 | 17,6 | 38,2 |
| 2-Propanol | 47,5 | 54,5 | 59,1 | 110,8 |
| 1-Butanol | 12,8 | 15,8 | 51,5 | 59,8 |
| 2-Ethyl-1-hexanol | 11,0 | 19,6 | 20,7 | 37,8 |
| Benzylalkohol | 29,6 | 42,5 | 2,0 | 4,3 |

| Stoffe | gelüftet P90 µg/m ³ | gelüftet P95 µg/m ³ | ungelüftet P90 µg/m ³ | ungelüftet P95 µg/m ³ |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| α-Pinen | 10,0 | 65,5 | 54,4 | 127,0 |
| Δ-3-Caren | 3,6 | 20,8 | 27,4 | 45,1 |
| Limonen | 9,4 | 10,7 | 24,2 | 44,2 |
| Formaldehyd | 76,2 | 86,5 | 76,0 | 158,6 |
| n-Pentanal | 8,2 | 14,4 | 22,0 | 38,6 |
| n-Hexanal | 20,0 | 28,3 | 45,2 | 76,6 |
| Furfural | 1,3 | 2,0 | 6,0 | 8,6 |
| Methylethylketon | 16,0 | 29,3 | 31,2 | 53,4 |
| Cyclohexanon | 2,0 | 7,8 | 5,9 | 10,7 |
| Acetophenon | 2,0 | 2,0 | 3,3 | 4,8 |
| n-Butylacetat | 4,0 | 4,3 | 12,0 | 29,4 |
| Ethylenglykolmonobutylether | 10,0 | 29,8 | 16,4 | 45,0 |
| Ethylenglykolmonophenylether | 5,9 | 9,3 | 8,9 | 17,6 |
| Diethylenglykolmonoethylether | 14,5 | 23,8 | 2,0 | 8,1 |
| Diethylenglykolmonobutylether | 13,5 | 15,0 | 7,7 | 14,0 |
| Siloxan D5 | 7,1 | 8,6 | 26,0 | 65,5 |
| Essigsäure | 54,4 | 71,6 | 93,2 | 139,6 |
| Propionsäure | 9,7 | 16,3 | 11,0 | 21,7 |
| n-Butansäure | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 5,0 |
| Caprolactam | 2,7 | 3,0 | 2,0 | 4,5 |
| 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on | 0,8 | 1,1 | 1,4 | 2,6 |
| Benzothiazol | <BG | 3,9 | 0,9 | 2,0 |
| 2-Butanonoxim | 3,5 | 15,3 | 1,6 | 8,3 |
| TVOC | 962 | 1184 | 2020 | 3000 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

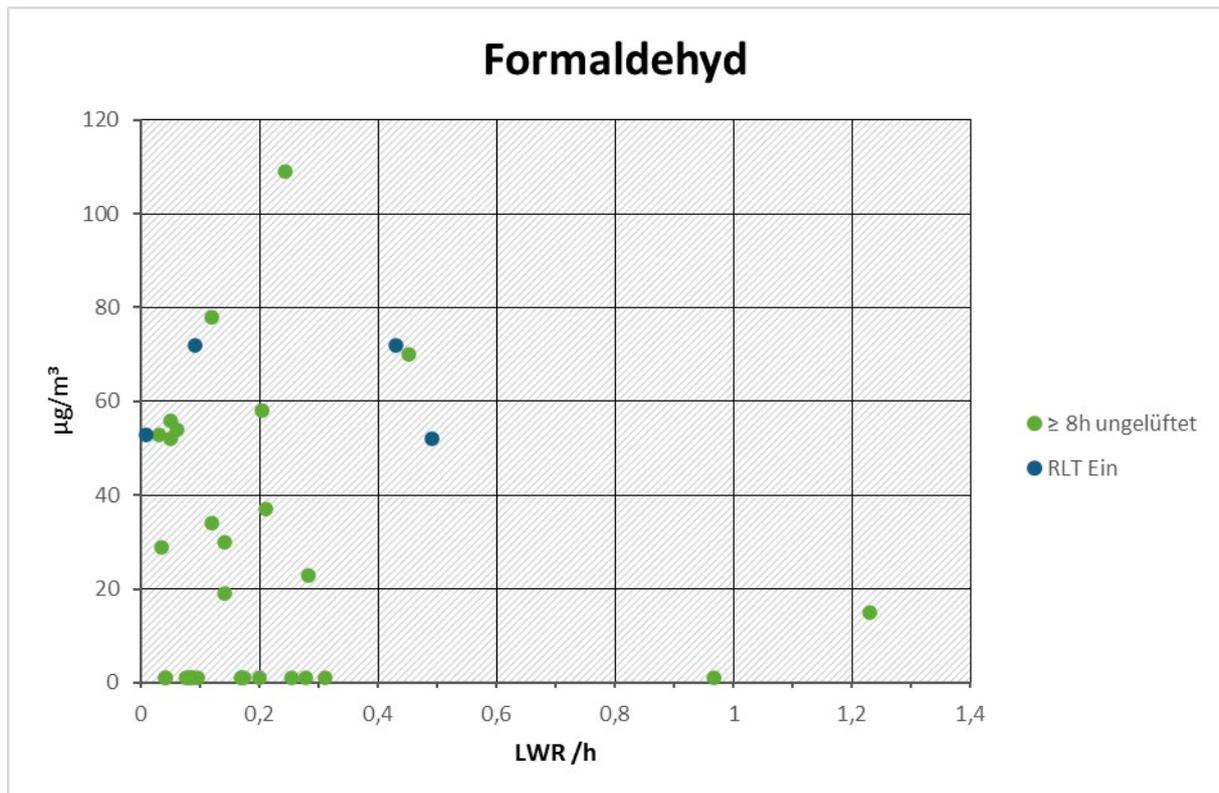
5.7 Luftwechselraten und Raumlufkonzentrationen

Für ausgewählte Stoffe wurde der Zusammenhang zwischen der Stoffkonzentration und der Luftwechselrate grafisch dargestellt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Luftwechselrate und die Konzentration der Stoffe Formaldehyd, n-Hexanal, Benzaldehyd, 1-Butanol, 1,2-PGMM und Styrol. Weitere Darstellungen für die Stoffe n-Heptan, Toluol, m,p-Xylol, Naphthalin, α-Pinen, Acetaldehyd, n-Nonanal, Furfural, Acetophenon, n-Butylacetat, 2-Ethyl-1-hexanol, und Essigsäure sowie den TVOC finden sich im Anhang A.

Von den insgesamt 76 vorliegenden Bestimmungen der Luftwechselrate wurden 59 Luftwechselraten mit Stoffkonzentrationen verknüpft (siehe auch Kapitel 4.2.5.7). Die Messungen erfolgten überwiegend in Räumen mit Fensterlüftung, die mindestens 8 Stunden nicht gelüftet wurden. Nur für einige Stoffe standen Angaben zur Luftwechselrate und Konzentration in Räumen mit Lüftungsanlage oder Nutzungssimulation zur Verfügung.

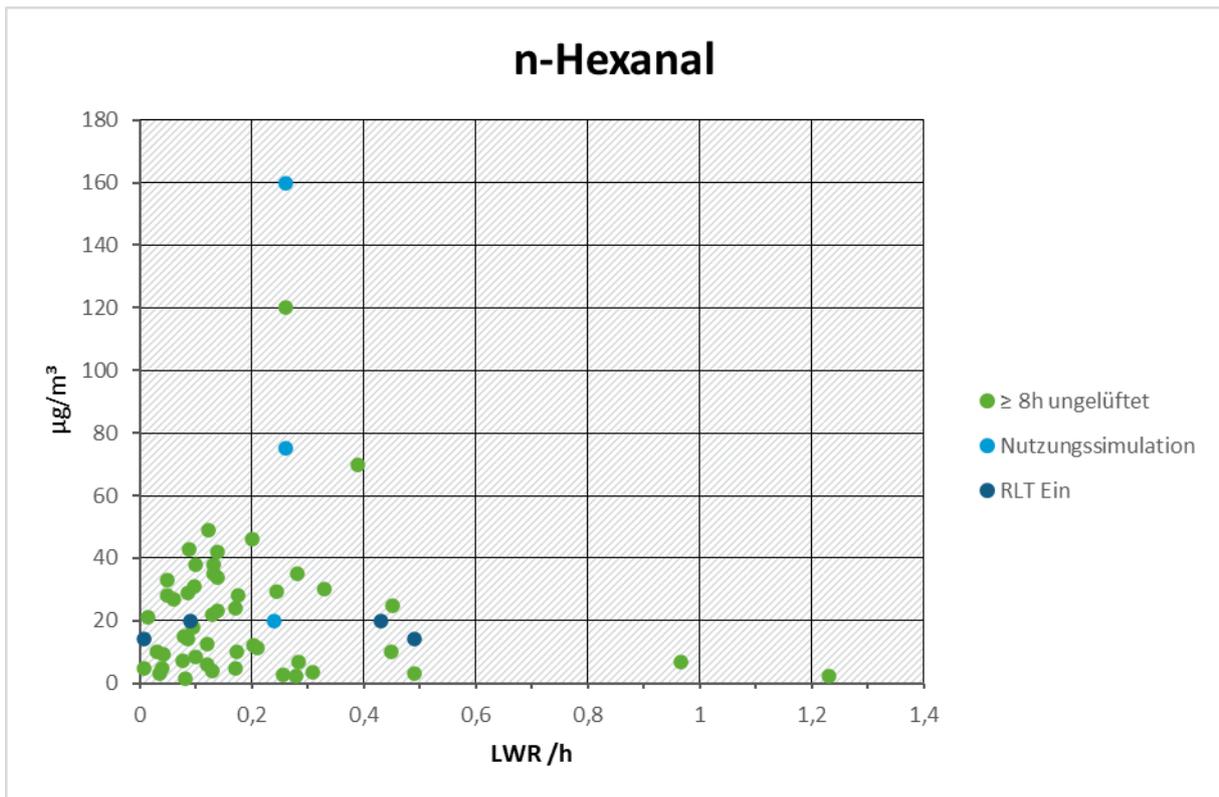
Die Auswertungen zeigen, dass die mit Stoffkonzentrationen verknüpfbaren Luftwechselraten bis auf 2 Werte unterhalb von 0,5/h liegen. Bei Luftwechselraten zwischen 0 und 0,5/h wurden niedrige und hohe Raumluftkonzentrationen gemessen. Eine Korrelation zwischen der LWR und Konzentration ist nicht erkennbar. Die beiden Messungen in Räumen mit einer LWR >0,9 /h ergaben außer für 1,2-Propylenglykolmonomethylether überwiegend niedrige Konzentrationen.

Abbildung 36: Luftwechselrate und Formaldehydkonzentration.



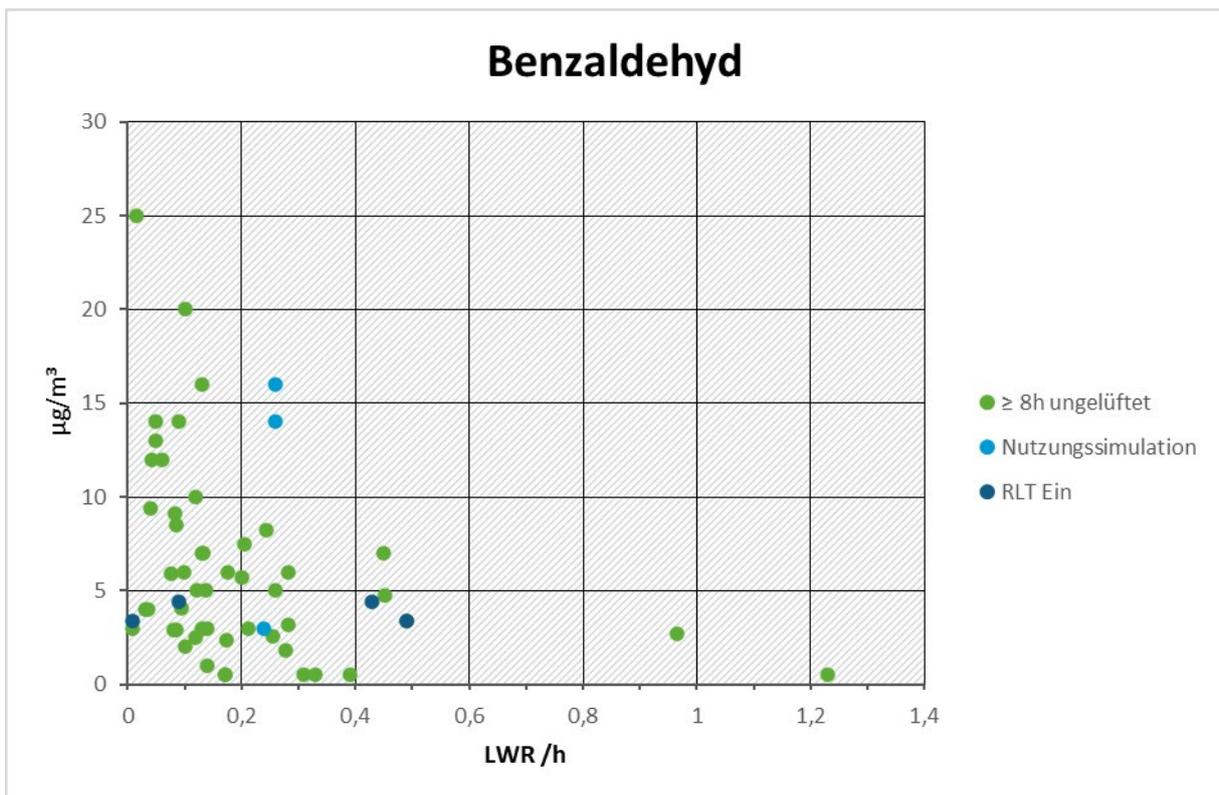
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 37: Luftwechselrate und n-Hexanalkonzentration.



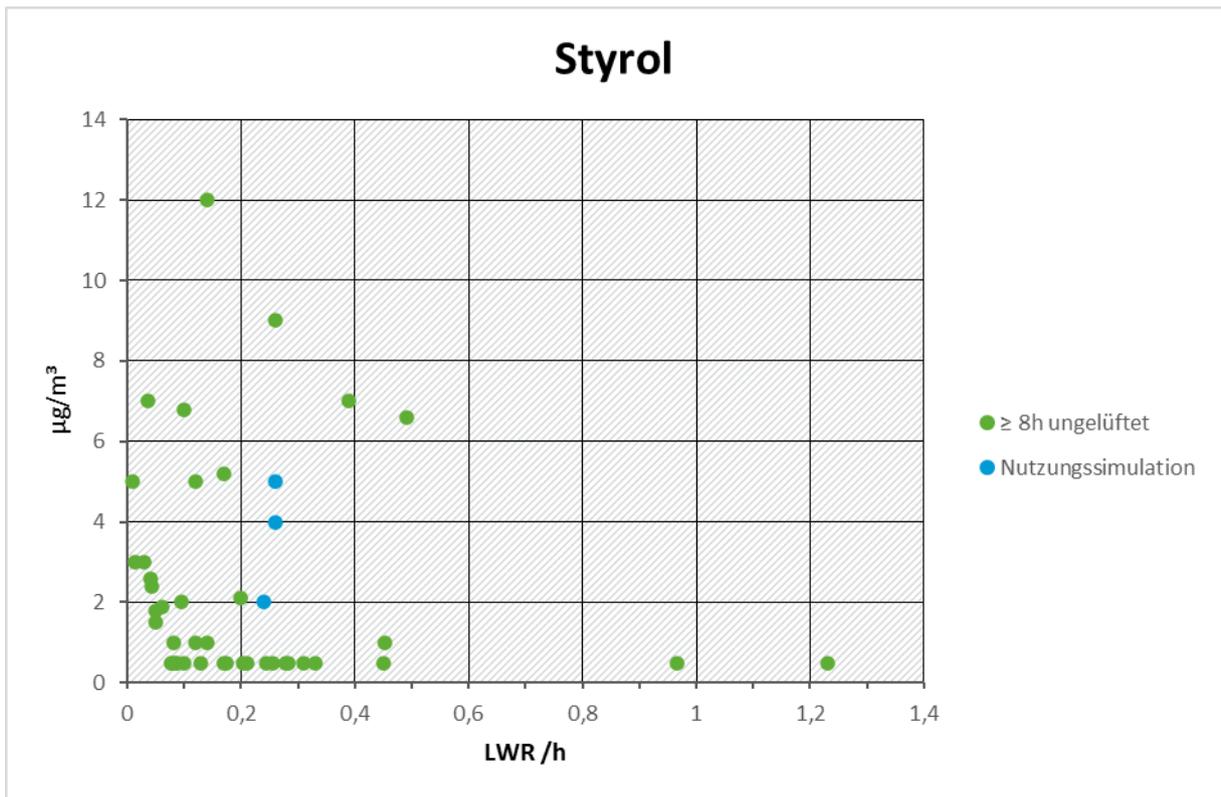
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 38: Luftwechselrate und Benzaldehydkonzentration.



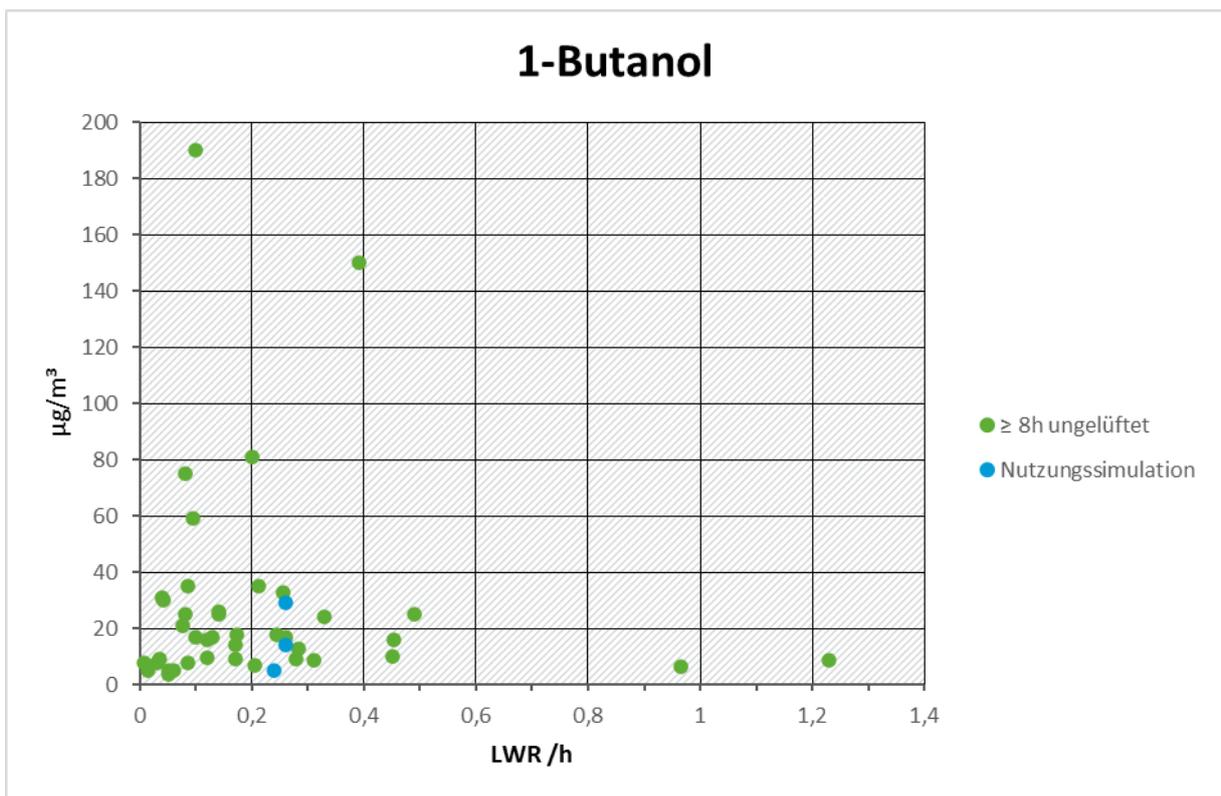
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 39: Luftwechselrate und Styrolkonzentration.



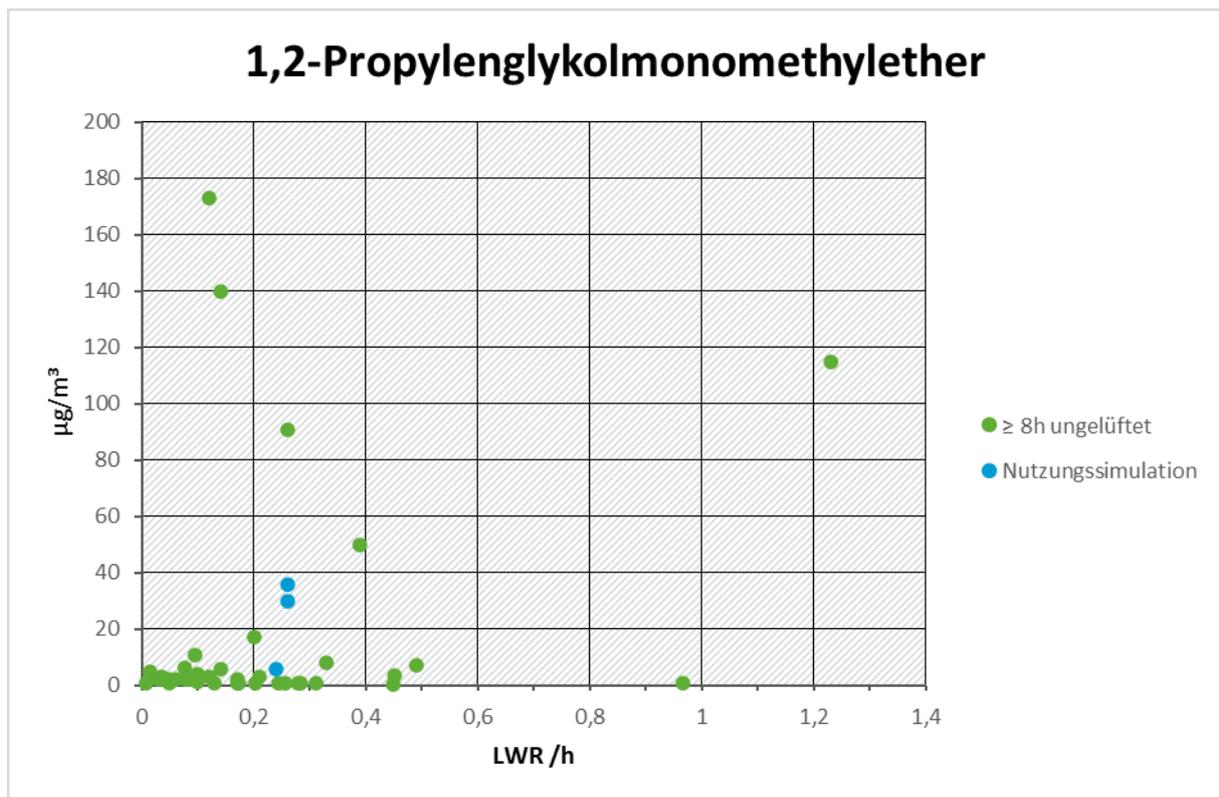
Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 40: Luftwechselrate und 1-Butanolkonzentration.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Abbildung 41: Luftwechselrate und 1,2-Propylenglykolmonomethylether-Konzentration.



Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

5.8 Vergleich mit Richtwerten

In den nachfolgenden Tabellen ist neben weiteren statistischen Angaben die Anzahl der Überschreitungen der Innenraumrichtwerte Richtwert I (RWI) und Richtwert II (RWII) des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) aufgeführt. Anhand von gesundheitsbezogenen Richtwerten ist eine gesundheitliche Beurteilung der Raumluftqualität möglich. Bei der Ableitung der Richtwerte wird die geruchliche Wirkung in der Regel nicht berücksichtigt. Tabelle 23 zeigt die Richtwertüberschreitungen für die Daten der VOC DB 2 und in der Tabelle 24 sind die Richtwertüberschreitungen für die VOC DB 3 aufgeführt (jeweils alle Daten). Die Tabelle 25 zeigt die Anzahl der Richtwertüberschreitungen für die VOC DB 2 und 3 im direkten Vergleich.

Betrachtet werden Richtwerte, die bis 2018 auf der Homepage des Umweltbundesamtes veröffentlicht wurden und der Richtwert II für Essigsäure der auf der 43. Sitzung der ehemaligen Ad-hoc-Arbeitsgruppe für Innenraumluft (jetzt: Ausschuss für Innenraumrichtwerte) vorgeschlagen wurde (Umweltbundesamt 2011). Für die VOC DB 2 liegen keine Summenwerte für Summenrichtwerte vor. In die VOC DB 3 wurden nur Summenwerte für Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen sowie C_4 bis C_{11} Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch) aufgenommen, so dass Vergleiche mit Summenrichtwerten nur eingeschränkt möglich sind.

Am häufigsten wurden in den geruchsauffälligen Räumen der VOC DB 3 der Summenrichtwert für Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen überschritten. In 30,5 % der Fälle wurde der RW I überschritten und in 11,6 % der RW II. Da für die VOC DB 1 und 2 keine Summenwerte für Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen ermittelt wurde, konnte hier nur die Konzentration für Naphthalin mit dem Summenrichtwert verglichen werden. Der RW I wurde hier in 60 Fällen (1,9 %) allein durch die Konzentration von Naphthalin überschritten.

Überschreitungen des RW II traten insgesamt selten auf. Die Auswertungen der VOC DB 2 ergaben für Toluol, Ethylbenzol, Styrol, Phenol, Naphthalin, m/p-Kresol, Xylole, α -Pinen, Benzaldehyd, Ethylenglykolmonobutylether, Propan-1,2-diol (1,2-Propylenglykol), 2-Phenoxyethanol (Ethylenglykolmonophenylether), Essigsäure, Butanonoxim und 1-Methyl-2-pyrrolidon Überschreitungen des RW II. Am häufigsten wurde der RW II für Butanonoxim überschritten (74 Fälle, 2,4 %). Für die übrigen genannten Verbindungen lag der Anteil an RW II-Überschreitungen jeweils bei unter 1 %. In den geruchsauffälligen Räumen der VOC DB 3 traten Überschreitungen des RW II außer bei Naphthalin und Naphthalin-ähnlichen Verbindungen nur noch bei Styrol, Benzaldehyd, Essigsäure und Butanonoxim jeweils in weniger als 1 % der Fälle auf. RW I-Überschreitungen lagen in der VOC DB 2 nahezu für alle aufgelisteten Verbindungen vor. Am häufigsten wurde der RW I für Benzaldehyd (6,5 % der Fälle), Formaldehyd (5,9 % der Fälle) und Butanonoxim (5,2 % der Fälle) überschritten. Der RW I wurde in den geruchsauffälligen Räumen für Formaldehyd in 7,0 der Fälle überschritten. Der Anteil an Überschreitungen des RW I lag für die Summe der C4 bis C11 Aldehyde bei 11,7 %.

RW-Überschreitungen waren in der DB 3 insgesamt seltener als in der DB 2.

Tabelle 21: Anzahl der Richtwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe und Stoffgruppen der VOC DB 2.

n = Stichprobenumfang; n < BG = Anzahl der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze; % > BG = Anteil Messungen über der Bestimmungsgrenze, n>RWI/II = Anzahl der Messwerte über Richtwert I bzw. II, n≤RWI/II = Anzahl der Messwerte kleiner oder gleich Richtwert I bzw. II; - = nicht bestimmt.

| Stoffe | CAS-Nr. | n | n<BG | % >BG | RWI µg/m ³ | n > RWI | n ≤ RWI | % > RWI | RWII µg/m ³ | n > RWII | n ≤ RWII | % > RWII |
|---|-------------------|------|------|-------|--------------------------|------------|------------|------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Toluol | 108-88-3 | 3664 | 188 | 94,9 | 300 | 10 | 3654 | 0,3 | 3000 | 2 | 3662 | 0,1 |
| Ethylbenzol | 100-41-4 | 3652 | 863 | 76,4 | 200 | 4 | 3648 | 0,1 | 2000 | 0 | 3652 | 0,0 |
| Styrol | 100-42-5 | 3652 | 1304 | 64,3 | 30 | 110 | 3542 | 3,0 | 300 | 1 | 3651 | 0,0 |
| Phenol | 108-95-2 | 2598 | 1241 | 52,2 | 20 | 35 | 2563 | 1,3 | 200 | 0 | 2598 | 0,0 |
| Naphthalin | 91-20-3 | 3619 | 2233 | 38,3 | 10 | 69 | 3550 | 1,9 | 30 | 20 | 3599 | 0,6 |
| Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen | - | - | - | - | 10 | - | - | - | 30 | - | - | - |
| o-Kresol | 95-48-7 | 465 | 381 | 18,1 | 5 | 1 | 464 | 0,2 | 50 | 0 | 465 | 0,0 |
| m/p-Kresol | 108-39-4/106-44-5 | 463 | 336 | 27,4 | 5 | 10 | 453 | 2,2 | 50 | 1 | 462 | 0,2 |
| m,p-Xylol | 1330-20-7 | 3650 | 242 | 93,4 | 100 | 108 | 3542 | 3,0 | 800 | 4 | 3646 | 0,1 |
| o-Xylol | 95-47-6 | 2643 | 981 | 73,1 | 100 | 17 | 3626 | 0,5 | 800 | 2 | 3641 | 0,1 |
| Dichlormethan | 75-09-2 | 47 | 46 | 2,1 | 200 | 0 | 47 | 0,0 | 2000 | 0 | 47 | 0,0 |
| 2-Chlorpropan | 75-29-6 | - | - | - | 800 | - | - | - | 8000 | - | - | - |
| Tetrachlorethen | 127-18-4 | 3615 | 3374 | 6,7 | 100 | 4 | 3611 | 0,1 | 1000 | 0 | 3615 | 0,0 |
| 1-Butanol | 71-36-3 | 3556 | 367 | 89,7 | 700 | 1 | 3555 | 0,0 | 2000 | 0 | 3556 | 0,0 |
| Benzylalkohol | 100-51-6 | 3311 | 2247 | 32,1 | 400 | 20 | 3291 | 0,6 | 4000 | 0 | 3311 | 0,0 |
| 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 3592 | 1062 | 70,4 | 100 | 41 | 3551 | 1,1 | 1000 | 0 | 3592 | 0,0 |

| Stoffe | CAS-Nr. | n | n<BG | % >BG | RWI µg/m ³ | n > RWI | n ≤ RWI | % > RWI | RWII µg/m ³ | n > RWII | n ≤ RWII | % > RWII |
|--|-----------|------|------|-------|--------------------------|------------|------------|------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| alpha-Pinen | 80-56-8 | 3591 | 441 | 87,7 | 200 | 104 | 3487 | 2,9 | 2000 | 6 | 3585 | 0,2 |
| Limonen | 138-86-3 | 3648 | 419 | 88,5 | 1000 | 0 | 3648 | 0,0 | 10000 | 0 | 3648 | 0,0 |
| Formaldehyd | 50-00-0 | 2035 | 71 | 96,5 | 100 | 120 | 1915 | 5,9 | - | - | - | - |
| Acetaldehyd | 75-07-0 | 911 | 29 | 96,8 | 100 | 12 | 899 | 1,3 | 1000 | 0 | 911 | 0,0 |
| Benzaldehyd | 100-52-7 | 3684 | 947 | 74,3 | 20 | 241 | 3443 | 6,5 | 200 | 17 | 3667 | 0,5 |
| Furfural | 98-01-1 | 1611 | 795 | 50,7 | 10 | 14 | 1597 | 0,9 | 100 | 0 | 1611 | 0,0 |
| Summe Aldehyde C ₄ -C ₁₁ (gesättigt, azyklisch, aliphatisch) | - | - | - | - | 100 | - | - | - | 2000 | - | - | - |
| Methylisobutylketon | 108-10-1 | 3642 | 2432 | 33,2 | 100 | 13 | 3629 | 0,4 | 1000 | 0 | 3642 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonoethyletheracetat | 111-15-9 | 3519 | 3504 | 0,4 | 200 | 0 | 3519 | 0,0 | 2000 | 0 | 3519 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonobutyletheracetat | 112-07-2 | 3565 | 3428 | 3,8 | 200 | 1 | 3564 | 0,0 | 2000 | 0 | 3565 | 0,0 |
| Ethylacetat | 141-78-6 | 3636 | 637 | 82,5 | 600 | 19 | 3617 | 0,5 | 6000 | 0 | 3636 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonomethylether | 109-86-4 | 3486 | 3429 | 1,6 | 20 | 9 | 3477 | 0,3 | 200 | 0 | 3486 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonoethylether | 110-80-5 | 3531 | 3224 | 8,7 | 100 | 0 | 3531 | 0,0 | 1000 | 0 | 3531 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonobutylether | 111-76-2 | 3550 | 1183 | 66,7 | 100 | 39 | 3511 | 1,1 | 1000 | 1 | 3549 | 0,0 |
| Diethylenglykolmonomethylether | 111-77-3 | 2900 | 2857 | 1,5 | 2000 | 0 | 2900 | 0,0 | 6000 | 0 | 2900 | 0,0 |
| Diethylenglykolmonoethylether | 111-90-0 | 3361 | 2630 | 21,7 | 700 | 8 | 3353 | 0,2 | 2000 | 0 | 3361 | 0,0 |
| Diethylenglykolmonobutylether | 112-34-5 | 3540 | 2399 | 32,2 | 300 | 2 | 3538 | 0,1 | 1000 | 0 | 3540 | 0,0 |
| 1,2-Propylenglykolmonomethylether | 107-98-2 | 3548 | 860 | 75,8 | 1000 | 1 | 3547 | 0,0 | 10000 | 0 | 3548 | 0,0 |
| Propylenglykolmonoethylether | 1569-02-4 | 1715 | 1646 | 4,0 | 300 | 0 | 1715 | 0,0 | 3000 | 0 | 1715 | 0,0 |

| Stoffe | CAS-Nr. | n | n<BG | % >BG | RWI µg/m ³ | n > RWI | n ≤ RWI | % > RWI | RWII µg/m ³ | n > RWII | n ≤ RWII | % > RWII |
|---------------------------------|------------|------|------|-------|--------------------------|------------|------------|------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Dipropylenglykolmonomethylether | 34590-94-8 | 2871 | 1629 | 43,3 | 2000 | 0 | 2871 | 0,0 | 7000 | 0 | 2871 | 0,0 |
| Propan-1,2-diol | 57-55-6 | 3562 | 1882 | 47,2 | 60 | 69 | 3493 | 1,9 | 600 | 1 | 3561 | 0,0 |
| Diethylenglykoldimethylether | 111-96-6 | 1693 | 1693 | 0 | 30 | 0 | 1693 | 0,0 | 300 | 0 | 1693 | 0,0 |
| 2-Hexoxyethanol | 112-25-4 | 1592 | 1591 | 0,1 | 100 | 0 | 1592 | 0,0 | 1000 | 0 | 1592 | 0,0 |
| 2-Phenoxyethanol | 122-99-6 | 3547 | 1997 | 43,7 | 30 | 71 | 3476 | 2,0 | 100 | 14 | 3533 | 0,4 |
| Essigsäure | 64-19-7 | 1863 | 239 | 87,2 | - | - | - | - | 400 | 14 | 1849 | 0,8 |
| Butanonoxim | 96-29-7 | 3145 | 2469 | 21,5 | 20 | 163 | 2982 | 5,2 | 60 | 74 | 3071 | 2,4 |
| 1-Methyl-2-pyrrolidon | 872-50-4 | 3561 | 2828 | 20,6 | 100 | 19 | 3542 | 0,5 | 1000 | 1 | 3560 | 0,0 |
| Tris(2-chlorisopropyl)phosphat | 13674-84-5 | 99 | 30 | 69,7 | 5 | 0 | 99 | 0,0 | 50 | 0 | 99 | 0,0 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Tabelle 22: Anzahl der Richtwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe und Stoffgruppen der VOC DB 3.

n = Stichprobenumfang; n < BG = Anzahl der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze; % > BG = Anteil Messungen über der Bestimmungsgrenze, n>RWI/II = Anzahl der Messwerte über Richtwert I bzw. II, n≤RWI/II = Anzahl der Messwerte kleiner oder gleich Richtwert I bzw. II; - = nicht bestimmt.

| Stoffe | CAS-Nr. | n | n<BG | % >BG | RWI µg/m ³ | n > RWI | n ≤ RWI | % > RWII | RWII µg/m ³ | n > RWII | n ≤ RWII | % > RWII |
|---|-------------------|-----|------|-------|--------------------------|------------|------------|----------|---------------------------|-------------|-------------|----------|
| Toluol | 108-88-3 | 261 | 6 | 87,7 | 300 | 3 | 258 | 1,1 | 3000 | 0 | 261 | 0,0 |
| Ethylbenzol | 100-41-4 | 256 | 108 | 57,8 | 200 | 0 | 256 | 0,0 | 2000 | 0 | 256 | 0,0 |
| Styrol | 100-42-5 | 252 | 100 | 60,3 | 30 | 6 | 246 | 2,4 | 300 | 1 | 251 | 0,4 |
| Phenol | 108-95-2 | 226 | 131 | 42,0 | 20 | 4 | 222 | 1,8 | 200 | 0 | 226 | 0,0 |
| Naphthalin | 91-20-3 | 267 | 163 | 39,0 | 10 | 21 | 246 | 7,9 | 30 | 7 | 260 | 2,6 |
| Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen | - | 95 | 20 | 78,9 | 10 | 29 | 66 | 30,5 | 30 | 11 | 84 | 11,6 |
| o-Kresol | 95-48-7 | 197 | 193 | 2,0 | 5 | 0 | 197 | 0,0 | 50 | 0 | 197 | 0,0 |
| m/p-Kresol | 108-39-4/106-44-5 | 197 | 181 | 8,1 | 5 | 3 | 194 | 1,5 | 50 | 0 | 197 | 0,0 |
| m,p-Xylol | 1330-20-7 | 252 | 36 | 85,7 | 100 | 5 | 247 | 2,0 | 800 | 0 | 252 | 0,0 |
| o-Xylol | 95-47-6 | 250 | 123 | 50,8 | 100 | 2 | 248 | 0,8 | 800 | 0 | 250 | 0,0 |
| Dichlormethan | 75-09-2 | 67 | 65 | 3,0 | 200 | 0 | 67 | 0,0 | 2000 | 0,0 | 67 | 0,0 |
| 2-Chlorpropan | 75-29-6 | 2 | 2 | 0,0 | 800 | 0 | 2 | 0,0 | 8000 | 0 | 2 | 0,0 |
| Tetrachlorethen | 127-18-4 | 231 | 222 | 3,9 | 100 | 0 | 231 | 0,0 | 1000 | 0 | 231 | 0,0 |
| 1-Butanol | 71-36-3 | 243 | 13 | 94,7 | 700 | 0 | 243 | 0,0 | 2000 | 0 | 243 | 0,0 |
| Benzylalkohol | 100-51-6 | 239 | 195 | 18,4 | 400 | 2 | 237 | 0,8 | 4000 | 0 | 239 | 0,0 |
| 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 241 | 53 | 78,0 | 100 | 4 | 237 | 1,7 | 1000 | 0 | 241 | 0,0 |

| Stoffe | CAS-Nr. | n | n<BG | % >BG | RWI µg/m ³ | n > RWI | n ≤ RWI | % > RWII | RWII µg/m ³ | n > RWII | n ≤ RWII | % > RWII |
|--|-----------|-----|------|-------|--------------------------|------------|------------|----------|---------------------------|-------------|-------------|----------|
| alpha-Pinen | 80-56-8 | 241 | 20 | 91,7 | 200 | 8 | 233 | 3,3 | 2000 | 0 | 241 | 0,0 |
| Limonen | 138-86-3 | 236 | 31 | 86,9 | 1000 | 0 | 236 | 0,0 | 10000 | 0 | 236 | 0,0 |
| Formaldehyd | 50-00-0 | 129 | 21 | 83,7 | 100 | 9 | 120 | 7,0 | - | - | - | - |
| Acetaldehyd | 75-07-0 | 166 | 72 | 56,6 | 100 | 1 | 165 | 0,6 | 1000 | 0 | 166 | 0,0 |
| Benzaldehyd | 100-52-7 | 268 | 49 | 81,7 | 20 | 12 | 256 | 4,5 | 200 | 1 | 267 | 0,4 |
| Furfural | 98-01-1 | 234 | 122 | 47,9 | 10 | 5 | 229 | 2,1 | 100 | 0 | 234 | 0,0 |
| Summe Aldehyde C ₄ -C ₁₁ (gesättigt, azyklisch, aliphatisch) | - | 34 | 1 | 97,1 | 100 | 4 | 30 | 11,8 | 2000 | 0 | 34 | 0,0 |
| Methylisobutylketon | 108-10-1 | 250 | 211 | 15,6 | 100 | 0 | 250 | 0,0 | 1000 | 0 | 250 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonoethyletheracetat | 111-15-9 | 235 | 234 | 0,4 | 200 | 0 | 235 | 0,0 | 2000 | 0 | 235 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonobutyletheracetat | 112-07-2 | 230 | 224 | 2,6 | 200 | 0 | 230 | 0,0 | 2000 | 0 | 230 | 0,0 |
| Ethylacetat | 141-78-6 | 236 | 47 | 80,1 | 600 | 1 | 235 | 0,4 | 6000 | 0 | 236 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonomethylether | 109-86-4 | 229 | 222 | 3,1 | 20 | 0 | 229 | 0,0 | 200 | 0 | 229 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonoethylether | 110-80-5 | 233 | 222 | 4,7 | 100 | 0 | 233 | 0,0 | 1000 | 0 | 233 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonobutylether | 111-76-2 | 232 | 88 | 62,1 | 100 | 4 | 228 | 1,7 | 1000 | 0 | 232 | 0,0 |
| Diethylenglykolmonomethylether | 111-77-3 | 229 | 227 | 0,9 | 2000 | 0 | 229 | 0,0 | 6000 | 0 | 229 | 0,0 |
| Diethylenglykolmonoethylether | 111-90-0 | 231 | 198 | 14,3 | 700 | 0 | 231 | 0,0 | 2000 | 0 | 231 | 0,0 |
| Diethylenglykolmonobutylether | 112-34-5 | 229 | 165 | 27,9 | 300 | 0 | 229 | 0,0 | 1000 | 0 | 229 | 0,0 |
| 1,2-Propylenglykolmonomethylether | 107-98-2 | 222 | 54 | 75,7 | 1000 | 0 | 222 | 0,0 | 10000 | 0 | 222 | 0,0 |
| Propylenglykolmonoethylether | 1569-02-4 | 119 | 112 | 5,9 | 300 | 0 | 119 | 0,0 | 3000 | 0 | 119 | 0,0 |

| Stoffe | CAS-Nr. | n | n<BG | % >BG | RWI µg/m ³ | n > RWI | n ≤ RWI | % > RWII | RWII µg/m ³ | n > RWII | n ≤ RWII | % > RWII |
|---------------------------------|------------|-----|------|-------|--------------------------|------------|------------|----------|---------------------------|-------------|-------------|----------|
| Dipropylenglykolmonomethylether | 34590-94-8 | 226 | 154 | 31,9 | 2000 | 0 | 226 | 0,0 | 7000 | 0 | 226 | 0,0 |
| Propan-1,2-diol | 57-55-6 | 234 | 163 | 30,0 | 60 | 5 | 229 | 2,1 | 600 | 0 | 234 | 0,0 |
| Diethylenglykoldimethylether | 111-96-6 | 129 | 128 | 0,8 | 30 | 1 | 128 | 0,8 | 300 | 0 | 129 | 0,0 |
| 2-Hexoxyethanol | 112-25-4 | 155 | 154 | 0,6 | 100 | 0 | 155 | 0,0 | 1000 | 0 | 155 | 0,0 |
| 2-Phenoxyethanol | 122-99-6 | 236 | 149 | 36,9 | 30 | 5 | 231 | 2,1 | 100 | 0 | 236 | 0,0 |
| Essigsäure | 64-19-7 | 208 | 28 | 86,5 | - | - | - | 0,0 | 400 | 1 | 207 | 0,5 |
| Butanonoxim | 96-29-7 | 221 | 178 | 19,5 | 20 | 5 | 216 | 2,3 | 60 | 2 | 219 | 0,9 |
| 1-Methyl-2-pyrrolidon | 872-50-4 | 233 | 230 | 1,3 | 100 | 0 | 233 | 0,0 | 1000 | 0 | 233 | 0,0 |
| Tris(2-chlorisopropyl)phosphat | 13674-84-5 | - | - | - | 5 | - | - | - | 50 | - | - | - |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

Tabelle 23: Anzahl der Richtwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe und Stoffgruppen der VOC DB 2 und VOC DB 3.

n = Stichprobenumfang; n < BG = Anzahl der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze; % > BG = Anteil Messungen über der Bestimmungsgrenze, n>RWI/II = Anzahl der Messwerte über Richtwert I bzw. II, n≤RWI/II = Anzahl der Messwerte kleiner oder gleich Richtwert I bzw. II; - = nicht bestimmt.

| Stoffe | CAS-Nr. | DB 2 n | DB 3 n | DB 2 % > RWI | DB 3 % > RWI | DB 2 % > RWII | DB 3 % > RWII |
|---|-------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| Toluol | 108-88-3 | 3664 | 261 | 0,3 | 1,1 | 0,1 | 0,0 |
| Ethylbenzol | 100-41-4 | 3652 | 256 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Styrol | 100-42-5 | 3652 | 252 | 3,0 | 2,4 | 0,0 | 0,4 |
| Phenol | 108-95-2 | 2598 | 226 | 1,3 | 1,8 | 0,0 | 0,0 |
| Naphthalin | 91-20-3 | 3619 | 267 | 1,9 | 7,9 | 0,6 | 2,6 |
| Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen | - | - | 95 | - | 30,5 | - | 11,6 |
| o-Kresol | 95-48-7 | 465 | 197 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| m/p-Kresol | 108-39-4/106-44-5 | 463 | 197 | 2,2 | 1,5 | 0,2 | 0,0 |
| m,p-Xylol | 1330-20-7 | 3650 | 252 | 3,0 | 2,0 | 0,1 | 0,0 |
| o-Xylol | 95-47-6 | 2643 | 250 | 0,5 | 0,8 | 0,1 | 0,0 |
| 2-Chlorpropan | 75-29-6 | - | 2 | - | 0,0 | - | 0,0 |
| Tetrachlorethen | 127-18-4 | 3615 | 231 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-Butanol | 71-36-3 | 3556 | 243 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Benzylalkohol | 100-51-6 | 3311 | 239 | 0,6 | 0,8 | 0,0 | 0,0 |
| 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 3592 | 241 | 1,1 | 1,7 | 0,0 | 0,0 |
| alpha-Pinen | 80-56-8 | 3591 | 241 | 2,9 | 3,3 | 0,2 | 0,0 |
| Formaldehyd | 50-00-0 | 2035 | 129 | 5,9 | 7,0 | - | - |

| Stoffe | CAS-Nr. | DB 2 n | DB 3 n | DB 2 % > RWI | DB 3 % > RWI | DB 2 % > RWII | DB 3 % > RWII |
|--|----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| Acetaldehyd | 75-07-0 | 911 | 166 | 1,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| Benzaldehyd | 100-52-7 | 3684 | 268 | 6,5 | 4,5 | 0,5 | 0,4 |
| Furfural | 98-01-1 | 1611 | 234 | 0,9 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |
| Summe Aldehyde C ₄ -C ₁₁ (gesättigt, azyklisch, aliphatisch) | - | - | 34 | - | 11,8 | - | 0,0 |
| Methylisobutylketon | 108-10-1 | 3642 | 250 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonobutyletheracetat | 112-07-2 | 3565 | 230 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ethylacetat | 141-78-6 | 3636 | 236 | 0,5 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonomethylether | 109-86-4 | 3486 | 229 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ethylenglykolmonobutylether | 111-76-2 | 3550 | 232 | 1,1 | 1,7 | 0,0 | 0,0 |
| Diethylenglykolmonoethylether | 111-90-0 | 3361 | 231 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Diethylenglykolmonobutylether | 112-34-5 | 3540 | 229 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1,2-Propylenglykolmonomethylether | 107-98-2 | 3548 | 222 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Propan-1,2-diol | 57-55-6 | 3562 | 234 | 1,9 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |
| Diethylenglykoldimethylether | 111-96-6 | 1693 | 129 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 0,0 |
| 2-Phenoxyethanol | 122-99-6 | 3547 | 236 | 2,0 | 2,1 | 0,4 | 0,0 |
| Essigsäure | 64-19-7 | 1863 | 208 | - | - | 0,8 | 0,5 |
| Butanonoxim | 96-29-7 | 3145 | 221 | 5,2 | 2,3 | 0 | 0,9 |
| 1-Methyl-2-pyrrolidon | 872-50-4 | 3561 | 233 | 0,5 | 0,0 | 0 | 0,0 |

Quelle: eigene Darstellung, AGÖF e.V.

6 Diskussion

6.1 Zusammensetzung der Stichprobe

Alle Daten der VOC-Datenbank stammen aus anlassbezogenen Messungen der AGÖF-Institute. Für das Geruchsprojekt wurde nach einer Vorerhebung zur Beteiligung und zur allgemeinen Beschreibung der Geruchsfälle die Höhe der Fallzahlen pro Institut festgelegt. Vorrangig sollten Fälle aufgenommen werden, bei denen auch die Luftwechselrate bestimmt wurde und es sollten alle interessierten Institute beteiligt werden. Vorgaben wurden in Bezug auf den Umfang der Messwerte und den Zeitpunkt der Probenahme gemacht. Es sollten möglichst umfangreiche Substanzspektren mit einem möglichen Probenahmedatum ab 2012 zeitlich anschließend an das vorherige Vorhaben geliefert werden. Die Auswahl der Fälle erfolgte durch die Institute. Über die Vorgabe von 100 Datensätzen hinaus wurden insgesamt 328 Datensätze in die Datenbank aufgenommen.

Während bei den vorangegangenen Projekten DB 1 und 2 quasi alle VOC-Fälle, insgesamt 7436 VOC-Datensätze, die die Anforderungen an den Umfang und die Qualität der Daten erfüllten, eingegeben werden konnten, wurde somit für das Geruchsprojekt eine jeweils festgelegte Anzahl an Fällen durch die Institute ausgewählt. Die Zusammenstellung der Fälle in der DB 3 spiegelt somit nicht das Vorkommen und Substanzspektrum möglicher Geruchsbeschwerdefälle allgemein, sondern Geruchsbeschwerdefälle, in deren Zusammenhang VOC-Messungen durchgeführt wurden und die als „geeignet“ für das Projekt angesehen wurden. Es handelt sich somit um eine besondere Zusammenstellung von Geruchsfällen, die nicht als repräsentativ für Geruchsbeschwerdefälle in Innenräumen angesehen werden kann. Die DB 3 enthält von AGÖF-Instituten exemplarisch ausgewählte Geruchsbeschwerdefälle eines bestimmten Zeitraums, in denen VOC-Messungen durchgeführt wurden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass eher Fälle ausgewählt wurden, in denen Geruchsbeschwerden im Zusammenhang mit auffälligen VOC-Belastungen vorlagen oder die stofflichen Quellen für den Geruch ermittelt wurden.

Die Auswahl der Geruchsbeschwerdefälle aus den Altdaten erfolgte anhand der in der Datenbank erfassten Kategorien und Merkmale. Es wurden zwei Kategorien herangezogen: Anlass und Raumsituation. Auch für die Fälle ohne Geruch konnte entsprechend durch den Ausschluss des Anlasses Geruch und die Beschreibung der Raumsituation „kein Geruch“ gefiltert werden. Da es sich bei den Angaben zur Raumsituation um eine freiwillige Angabe handelte, kann nicht davon ausgegangen werden, dass Räume mit auffälligem Geruch und Räume ohne Geruch in den Altdaten vollständig erfasst wurden.

In die DB 3 wurden vorrangig Geruchsbeschwerdefälle aufgenommen. Es finden sich auch einige Fälle, in denen im Rahmen von Abnahmemessungen auffällige Gerüche wahrgenommen wurden sowie Kontrollmessungen im Zusammenhang mit baulichen Maßnahmen zur Beseitigung der Gerüche (siehe Kapitel 4.2.2.1 und 4.2.5.2). Verbindungen zwischen den Datensätzen bestehen bei Wiederholungsmessungen, die durchgeführt wurden, um den zeitlichen Verlauf bzw. die Wirksamkeit von Maßnahmen zu prüfen sowie wenn mehrere Probenahmen in unterschiedlichen Räumen eines Gebäudes vorlagen. Diese Verknüpfungen können durch die Funktionen Raumkopie (siehe Kapitel 4.2.4) und Gebäudekopie nachvollzogen werden.

Für eine vergleichende Betrachtung der Ergebnisse ist weiterhin zu berücksichtigen, dass sich die Altdaten auf Probenahmen aus dem Zeitraum 2002 bis 2012 beziehen, die über einen Zeitraum von mehreren Jahren retrospektiv in die Datenbank bzw. das zur Verfügung gestellte Import-Tool eingetragen wurden. Die Daten der DB 3 stammen aus Fällen ab 2012 (zeitlich anschließend an das vorhergehende Projekt) bis 2018 mit einem Schwerpunkt der Probenahmen in 2017 (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.5.1). Es wurde hier zunächst ein kurzer

Eingabezeitraum von fünf Monaten zur Verfügung gestellt, der aufgrund des zögerlichen Rücklaufs um sechs Monate verlängert wurde.

Aufgrund der für viele Stoffe zu beobachtenden zeitlichen Veränderungen ihres Vorkommens werden Unterschiede zwischen alten und neuen Daten auch durch zeitliche Trends in Bezug auf das Substanzspektrum und die Konzentrationshöhe überlagert.

6.2 Substanzspektrum

Das in Innenräumen untersuchte Substanzspektrum unterliegt zeitlichen Veränderungen und variiert je nach Prüflabor. Durch die Vielzahl an Produktentwicklungen werden kontinuierlich neue flüchtige organische Verbindungen in Innenräume eingebracht, die eine Anpassung der Analytik erfordern. Zudem wird durch die Verbesserung und Erweiterung der analytischen Verfahren eine zunehmende Identifikation und Quantifizierung von flüchtigen organischen Verbindungen in Innenräumen möglich.

Geruchlich relevant können in Innenräumen neben Geruchsstoffen mit sehr niedriger Geruchsschwelle, die im Bereich der Nachweisgrenze analytischer Methoden oder auch darunterliegen kann, auch Geruchsstoffe mit vergleichsweise hohen Geruchswahrnehmungsschwellenwerten sein, wenn diese Verbindungen in entsprechend hohen Konzentrationen in Innenräumen eingesetzt werden, was bei Lösungsmitteln, wie Alkylaromaten und Estern der Fall sein kann. Die Geruchswahrnehmungsschwelle stellt dabei keine feste stoffbezogene Größe dar, sondern wird durch die Wahrnehmung der Riechenden definiert. Die Bezeichnung Geruchsstoff bezieht sich auf Stoffe, die in Innenräumen unter den dort vorkommenden Konzentration geruchlich wahrgenommen werden können. Oftmals geht der Geruch nicht von einem Einzelstoff, sondern von mehreren Stoffen aus, die für sich gesehen einen anderen Geruchseindruck ergeben können. Gerade im Zusammenhang mit Beschwerden über Gerüche ist eine möglichst umfangreiche VOC-Auswertung wichtig, da weitere, nicht substanzspezifisch quantifizierbare Verbindungen Hinweise für die Quellenermittlung liefern können.

Rein analytisch ist es in der Regel nicht oder nur mit sehr großem Aufwand möglich zu beurteilen, ob die als auffällig und möglicherweise als geruchsverursachend eingestuft Verbindungen tatsächlich für den Geruch im Raum verantwortlich sind oder ob es sich um Indikatoren für nicht oder nur mit anderen Methoden messbare Geruchsbildungen handelt.

Auch wenn eine gewisse Flüchtigkeit eine Voraussetzung dafür darstellt, dass eine chemische Verbindung gerochen werden kann, sind Geruchsstoffe auch im Bereich der SVOC sowie bei anorganischen Verbindungen zu finden. Das übliche VOC Substanzspektrum deckt somit nicht das Geruchsstoffspektrum in Innenräumen ab. Zudem kommen für einige VOC, wie Alkansäuren, flüchtige PAK, Phenole und Kresole, MVOC spezielle analytische Methoden zum Einsatz.

Im Bereich der SVOC sei hier auf die Bedeutung der Chloranisole und Chlornaphthaline verwiesen (siehe auch Kapitel 7.5.2.1).

Es wurden in der Datenbank keine Messwerte für Chloranisole und Chlornaphthaline erfasst, da hier eigene Prüfverfahren erforderlich sind. Typische Quellenbeispiele finden sich in Kapitel 7.

Eine Ausnahme wurde für Ammoniak gemacht. Obwohl es sich bei Ammoniak um eine anorganische Verbindung mit eigener Analytik handelt, wurden einzelne Messwerte für Ammoniak in die Datenbank aufgenommen.

Für einige der geruchsrelevanten Verbindungen wie Isononanole und Isododekene wurden erst mit der DB 3 Messwerte vorgelegt. Hier kann kein Vergleich zwischen alten und neuen Daten stattfinden.

Eine nachträgliche Ermittlung von Summenwerten erfolgte in der Datenbank nicht. Es wurden nur die Summenwerte (TVOC, Σ Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen, Σ C4 bis C11 Aldehyde) ausgewertet, die von den Instituten geliefert wurden.

Aufgrund der unterschiedlichen Substanzspektren der Institute variiert die Anzahl der Messwerte stark. Obwohl sehr kleine Stichproben weniger aussagekräftig sind, wurden alle untersuchten Stoffe bei der Auswertung berücksichtigt. Bei den vorhergehenden Projekten VOC DB 1 und 2 wurden jeweils nur Stoffe ab 20 Messwerten betrachtet.

6.3 Raumlufkonzentrationen

Um zu prüfen, ob sich das Vorkommen von VOC in Räumen mit und ohne Gerüche unterscheidet, wurden die statistischen Kennwerte der betrachteten Teilgruppen Räume mit Geruch und Räume ohne Geruch verglichen. Hierbei konnten für einige Substanzen zwischen den Gruppen Geruch ja und Geruch nein sowie der Gesamtgruppe der Altdaten und der DB 3 deutliche Unterschiede festgestellt werden.

Zwischen den beiden Geruchsgruppen alt und neu liegen deutliche Unterschiede vor. Tendenziell wurden im Vergleich zu den Geruchsgruppen in der Gruppe „Geruch nein“ geringere Konzentrationen und in der Gruppe Altdaten gesamt höhere Konzentrationen ermittelt, wobei letzteres insbesondere auf den Anteil an Abnahmemessungen in der Gesamtgruppe zurückzuführen ist.

Einige der innenraumtypischen Geruchsstoffe wurden in den Teilgruppen „Geruch ja“ häufiger und in höheren Konzentrationen nachgewiesen. So war in der DB 3 insbesondere das Vorkommen von Aromaten, neben Naphthalin und Naphthalin-ähnlichen Verbindungen auch C9-Alkylaromaten, auffällig. Auch für Isododecene, Ethylhexanol, Isononanole, und Schwefelverbindungen wurden aufgrund von Beschwerdefällen mit entsprechenden Belastungen höhere Belastungen nachgewiesen. In der DB 3 wurden vergleichsweise hohe TVOC Summenkonzentrationen ermittelt. Die Perzentile P50, P90 und P95 lagen für die Gesamtgruppe DB 3 und die Geruchsgruppe DB 3 über den Perzentilwerten für die Altdaten. Höhere Perzentilwerte wurden auch für Formaldehyd ermittelt. Die Konzentrationen halogener Kohlenwasserstoffe waren in den Geruchsgruppen überwiegend gering.

Für Toluol, Kresole, Butanol, Benzylalkohol, Hexanal und Pentanal wurden in der Gruppe „Geruch ja“ aus den Altdaten höhere Perzentile ermittelt.

Einige der neubautypischen Stoffe, wie z.B. 2-Butanon und 2-Butanonoxim, wurden in den Räumen mit Geruch in geringeren Konzentrationen gemessen.

Bei Stoffen, die in Räumen mit beanstandetem Geruch in höheren Konzentrationen gemessen werden, muss es sich nicht um einen Geruchsstoff handeln. Es kann sich auch um eine mit einer Geruchsbildung assoziierte, geruchsneutrale Verbindung handeln. Andererseits, können Stoffe in niedrigen Konzentrationen, ohne statistisch auffällig zu sein, an einer Geruchsbildung beteiligt sein. Da die aufgenommenen Fälle nicht das gesamte Spektrum, der in Innenräumen vorkommenden Geruchsstoffe abbilden, lagen einige der in Innenräumen geruchsrelevanten Verbindungen wie beispielsweise Kresole in der DB 3 in vergleichsweise geringen Konzentrationen vor.

Die Auswertungen lassen vermuten, dass bei der Datenbereitstellung, eher Fälle mit vergleichsweise hohen VOC-Belastungen ausgewählt wurden. Die Erfahrung, dass in Geruchsbeschwerdesituationen vielfach keine relevante VOC-Belastung festgestellt werden kann, spiegelt sich in dieser Auswertung statistisch nicht.

Die statistischen Auswertungen erlauben keine bzw. nur eingeschränkt Aussagen zu Quellen für Gerüche, da vermutete oder festgestellte Quellen nicht differenziert in der Datenbank erfasst werden. Bei zukünftigen Datenerhebungen im Zusammenhang mit Gerüchen sowie VOC-Belastungen wäre eine Erfassung möglicher Quellen wünschenswert.

Bei dem Vergleich der statistischen Auswertungen sind zudem die Unterschiede zwischen den alten und neuen Daten in Bezug auf die Zusammensetzung und das Substanzspektrum zu berücksichtigen. Aufgrund des geringeren Datenumfanges der DB 3 und der bereits in Kapitel 6.1 beschriebenen Einschränkungen handelt es sich nicht um eine repräsentative Auswahl von Geruchsbeschwerdefällen in Innenräumen. Auch deckt die DB 3 nicht die gesamte Bandbreite möglicher, VOC bedingter Geruchsfälle ab, die in der Fallsammlung beschrieben wird. Vertreten ist eine Auswahl von typischen Beschwerdesituationen.

Es ist nicht möglich zu beurteilen, ob es sich bei den Unterschieden zwischen den Geruchsgruppen alt und neu um einen allgemeinen Trend handelt oder entsprechende Schadensfälle nicht vorlagen, da die neuen Daten nicht mit aktuellen Hintergrundwerten insgesamt bzw. Fällen ohne Geruchsauffälligkeit verglichen werden können.

Vermutlich unterliegen nicht nur Geruchsstoffe wie VOC generell zeitlichen Trends, sondern auch die Wahrnehmung und Bewertung von Gerüchen verändert sich vor dem Hintergrund der Veränderungen unserer Lebensbedingungen.

6.4 Einflussfaktoren

Im Folgenden wird die Zusammensetzung der VOC DB 3 (Messungen in geruchsauffälligen Räumen überwiegend mit Geruchbeschwerdeanlass) anhand der erfassten Kategorien mit den entsprechenden Kategorien der VOC DB 2 (alle Anlässe) verglichen. Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit der erfassten Kategorien und der zeitlichen Nähe werden hier nur die Auswertungen der DB 2 und nicht der DB 1 herangezogen.

6.4.1 Klimatische Bedingungen

Die Auswertung der Zusatzinformationen für die Datensätze der VOC DB 3 ergab bei den raumklimatischen Bedingungen für die Temperatur einen etwas höheren Mittelwert von 22,63 °C gegenüber 21,99 für die VOC DB 2. Für die relative Luftfeuchte wurde mit 47,27 % ein etwas niedrigerer Mittelwert gegenüber der VOC DB 2 mit 48,18 % gemessen.

Die meisten Probenahmen der DB 3 erfolgten in den Sommermonaten Juli (n=51) und August (n=54), die wenigsten im Mai (n=12) und im Dezember (n=11). Für die VOC DB1 und 2 wurden dagegen eher geringere monatliche Schwankungen festgestellt. Die meisten Probenahmen der VOC DB 2 erfolgten im Oktober. In beiden Vorgängerprojekten war die Anzahl der Probenahmen ebenfalls im Dezember am niedrigsten, vermutlich aufgrund der geringeren Anzahl an Arbeitstagen in diesem Monat. Aus der höheren Anzahl an Probenahmen im Sommer kann geschlossen werden, dass trotz oder gerade wegen der im Allgemeinen im Sommer besseren Belüftungsmöglichkeiten VOC-Messungen aufgrund von Gerüchen häufiger veranlasst werden.

6.4.2 Gebäudemerkmale

Gegenüber der VOC DB 2 (gesamt, alle Anlässe) ist der Anteil an Gebäuden in Massivbauweise in der VOC DB 3 (gesamt, Schwerpunkt Geruch) höher. Die Summe der in Massivbauweise errichteten Gebäude liegt in der DB 3 bei 70,7 % und in der DB 2 bei 51,9. Am stärksten vertreten in dieser Gruppe ist jeweils der Anteil für Mauerwerksbau mit 62,5 % in der DB 3 gegenüber 35,9 % in der DB 2. Auch der Anteil für Holzleichtbau ist in der VOC DB 3 mit 11 % etwas höher als in der VOC DB 2 mit 4,9 %. Dagegen ist der Anteil an Gebäuden Stahlbeton und Stahlleichtbau in der DB 3 geringer.

In Bezug auf die Baujahre der Objekte, in denen Raumluftmessungen durchgeführt wurden, zeigt sich für die DB 3 eine deutliche Zunahme bei neuen Gebäuden ab 2007 und alten Gebäuden, die vor 1918 errichtet wurden. Während der Anteil der Gebäude, die vor 1918 errichtet wurden in der VOC DB 2 insgesamt bei 6 % lag, erreicht er in der DB 3 18 %. Neue Gebäude liegen in der DB 3 bei 27,1 %, in der DB 2 lagen sie bei 17 %.

Der gegenüber den Gesamtdaten der VOC DB 2 deutlich höhere Anteil an sehr neuen und sehr alten Gebäuden innerhalb der Datenbank mit Geruchsfällen ist möglicherweise auf die besonderen Anforderungen bei der Altbausanierung bzw. der Errichtung energieeffizienter Gebäude zurückzuführen. Auch bei den Auswertungen der DB 2 wurden für den sanierten Altbau und neue Gebäude größere Spannweiten für mögliche VOC-Belastungen ermittelt.

6.4.3 Ausstattung

Bei der Art der Bodenbeläge überwiegen in der DB 3 Teppichböden, verklebt mit 33,8 %. An zweiter Stelle liegen Kunststoffbeläge mit 15,2 %. In der DB 2 fielen die häufigsten Nennungen auf Kunststoffbeläge mit 20,2 %, gefolgt von Teppichböden, verklebt mit 18,2 %.

Daraus kann geschlossen werden, dass Geruchsbeschwerden im Zusammenhang mit textilen Bodenbelägen häufiger auftreten. Auch in der Vorerhebung wurde der Fußboden am häufigsten als Quelle für Gerüche genannt.

Fußböden kommen aufgrund ihrer Fläche, Lage, ihres Aufbaus, der Vielfalt eingesetzter Materialien sowie möglicher Sekundärbelastungen in besonderer Weise als Quellen für Geruchsbelastungen in Frage. Die Art des Bodenbelags kann in Räumen ohne weitere relevante Geruchsquelle die Art des Raumgeruchs deutlich prägen. Trotz der Zunahme emissionsarmer Produkte im Bereich der Bodenbeläge und Verlegewerkstoffe ist das Thema Gerüche hier weiterhin relevant, da Geruchsbildungen auch im Zusammenhang mit emissionsarmen Produkten auftreten.

Auch wenn die Geruchsquelle dem Fußboden zugeordnet werden kann, sind die möglichen Ursachen der Geruchsbildung vielfältig. Neben Geruchsstoffemissionen aus dem Bodenbelag können Kleber, Altbeläge, Vornutzung, Estrich, Dämmung, Altlasten im Untergrund, Feuchteschäden, Zersetzung, Alterung, Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Produkten, Reaktionen im Zusammenhang mit UV-Strahlung und Ozon, von außen oder aus anderen Gebäudeteilen über den Boden eindringende Gerüche verursachen.

Die häufigste Nennung bei Wänden und Decke in der DB 2 und der DB 3 ist verputzt gestrichen.

6.4.4 Raumnutzung

Die Zusammensetzung der Raumnutzung zeigt für die DB 3 einen höheren Anteil an Nennungen für Büroräume, Klassenräume und Gruppenräume. Entsprechend ergeben sich höhere Anteile bei der Gebäudenutzung für die Kategorie Büro/Verwaltung und geringere Anteile bei den Wohngebäuden.

Die nutzungsbezogenen Auswertungen der Raumluftkonzentrationen für die DB 2 ergaben in den untersuchten Büroräumen überwiegend niedrigere Konzentrationen. Für die meisten VOC lagen die höchsten P90- und P95-Werte in den Klassenräumen vor. Für Limonen und Hexanal wurden höhere Konzentrationen in Wohnräumen ermittelt.

Auch bei Geruchsbeschwerdefällen ist zu erwarten, dass typische Beschwerdesituationen mit den entsprechenden Geruchsstoffen je nach Nutzungsart variieren können.

Die Auswertungen der VOC-Konzentrationen der DB 3 für die verschiedenen Raumnutzungsarten zeigen, dass in jeder Raumnutzungsart bei bestimmten Einzelstoffen höhere Konzentrationen vorliegen. So wurden in Klassenräumen höhere Konzentrationen für Phenol, Σ Isononane, Benzylalkohol, Cyclohexanon, 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on, Benzothiazol und 2-Butanonoxim sowie die Mehrzahl der Glykolderivate gemessen. In Wohnräumen lagen höhere Konzentrationen für Terpene, Essigsäure, einige Aromaten und einige Alkohole vor. Büroräume wiesen höhere Konzentrationen für Isododecene, Naphthalin und Methylnaphthaline, Aldehyde, Methylethylketon, Acetophenon Propionsäure, n-Butansäure und Caprolactam auf.

Der höhere Anteil an Büro- und auch Klassenräumen in der Geruchsgruppe lässt darauf schließen, dass in diesen Räumen häufiger VOC Messungen im Zusammenhang mit Geruchsbeschwerden durchgeführt werden als in Wohnräumen. Vermutlich besteht aufgrund der Situation, dass es sich um Arbeitsplätze bzw. Unterrichtsräume für Kinder und Jugendliche handelt, eine größere Notwendigkeit, mögliche gesundheitliche Risiken im Zusammenhang mit Gerüchen durch Messungen abzuklären.

6.4.5 Lüftungsbedingungen / Luftwechselrate

In der VOC DB 3 ist der Anteil an Räumen mit einer Lüftungsanlage mit 8,2 % deutlich höher als in der DB 2. Hier lag der Anteil bei 3,9 %. Vermutlich ist die Steigerung auf den höheren Anteil an neuen Gebäuden in der DB 3 und den Trend in neuen Gebäuden vermehrt Lüftungsanlagen einzubauen, zurückzuführen und nicht darauf, dass in Räumen mit Lüftungsanlage häufiger VOC-Messungen aufgrund von Geruchsbeschwerden durchgeführt werden.

Auch VOC-Probenahmen in Geruchsbeschwerdesituationen erfolgten überwiegend, zu 77,7 % nach einer Anreicherungsphase von 8 Stunden ohne Belüftung. Allerdings ist der Anteil im Vergleich mit der DB 2 niedriger. Entsprechend mehr Räume wurden in Geruchsbeschwerdesituationen unter Nutzungsbedingungen, d.h. mit Betrieb der Lüftungsanlage oder 45 Minuten nach Öffnung der Fenster, beprobt.

In den Räumen mit manueller Lüftung wurden niedrige Luftwechselraten ermittelt. Der Mittelwert liegt bei 0,17 /h (n=57). Für Räume mit RLТ wurde ein Mittelwert von 0,52 berechnet. Bei 40 % der Messungen lag die Luftwechselrate unter 0,1 /h.

Es wird erwartet, dass im Zusammenhang mit niedrigen Luftwechselraten höhere VOC-Konzentrationen auftreten können und auch Geruchsbildungen wahrscheinlicher werden.

Die Auswertungen der DB 2 zu dieser Fragestellung ergaben geringere VOC-Belastungen in gelüfteten Räumen und häufiger hohe VOC-Konzentrationen bei geringen Luftwechselraten.

In der DB 3 ist dieser Effekt weniger deutlich erkennbar. Aufgrund der Schadensfälle mit teilweise sehr hohen VOC-Belastungen, die bei Messungen unter Nutzungsbedingungen einen höheren Anteil einnehmen, wurden für einige Verbindungen wie m,p-Xylol, 1,2,4-Trimethylbenzol, Naphthalin, Methylnaphthaline, Benzylalkohol, Diethylen glykolmonoethylether und Diethylen glykolmonobutylether teilweise höhere

Perzentile in der Teilgruppe „gelüftet“ ermittelt. Die 90. und 95. Perzentile für den TVOC waren in der Gruppe „gelüftet“ deutlich niedriger als in der Gruppe „ungelüftet“.

Auch die Korrelationsbetrachtungen zwischen der Luftwechselrate und den Raumluftkonzentrationen für einzelne Verbindungen ergeben ein weniger eindeutiges Bild. Je nach Belastungssituation treten bei niedrigen Luftwechselraten geringe oder hohe Belastungen für einzelne Stoffe auf. Bei hohen Luftwechselraten wurden überwiegend niedrigere Raumluftkonzentrationen bestimmt.

In Geruchsbeschwerdesituationen wird oftmals beobachtet, dass die manuelle Belüftung keine nachhaltige Wirkung auf die Minderung der Geruchsbildung hat. Eine Verbesserung wird in vielen Fällen nur unmittelbar während des Lüftens empfunden. Nach dem Schließen der Fenster stellen sich die Beschwerdegerüche oftmals sehr schnell wieder ein. Auch kann der Effekt auftreten, dass der Geruch erst im Zusammenhang mit einer vermehrten Lüftung auftritt, was beispielsweise bei Geruchsbeschwerden im Zusammenhang mit Teppichböden und Wandfarben der Fall sein kann. In diesen Fällen handelt es sich um reaktive Prozesse, die u.a. durch Ozon oder UV-Strahlung beeinflusst werden. Je nach Quellenlage kann durch die Veränderung der Luftströmungen im Zusammenhang mit dem Öffnen der Fenster die Freisetzung von Geruchsstoffen gefördert werden. Auch die Wahrnehmbarkeit eines Geruchs kann durch wechselnde Bedingungen intensiviert werden.

6.4.6 Probenahme nach Renovierung oder Neubau

In neuen oder frisch renovierten Gebäuden werden aufgrund des Abklingens von Emissionen aus neuen Produkten überwiegend höhere Konzentrationen für VOC gemessen, wenn Messungen direkt im Anschluss an die Maßnahmen erfolgen. Die Erfahrungen aus Abnahmemessungen im Rahmen von Zertifizierungen oder aufgrund kommunaler Zielvorgaben zeigen, wie schwierig es sein kann, unmittelbar nach Fertigstellung des Gebäudes vorgegebene Zielwerte zu erreichen. Die Geruchsqualität stellt in der Regel im Rahmen von Abnahmemessungen kein Bewertungskriterium für die Raumluftqualität dar. Gerüche werden in neuen Gebäuden oder nach Renovierungsmaßnahmen i.d.R. je nach Geruchsqualität und Intensität für eine gewisse Zeit als „Neugeruch“ akzeptiert.

Im Rahmen der Auswertungen für die DB 1 und 2 wurde das Merkmal Zeitpunkt der Probenahme nach einer Renovierung oder Neuerrichtung als der wesentlichste Einflussfaktor auf die VOC-Konzentration identifiziert.

In der DB 3 wurden weniger Angaben zu Renovierungen gemacht. Gegenüber der DB 2 war der Anteil Renovierungsmaßnahmen im Bereich des Fußbodens größer. In den meisten Fällen lagen keine Angaben zum Zeitpunkt der Renovierung vor. Aufgrund der sehr kleinen Stichprobengrößen für die Zeitreihen nach einer Renovierung wurden keine exemplarischen Auswertungen für ausgewählte Einzelstoffe in den Bericht aufgenommen.

6.4.7 Sensorische Bewertung

Die sensorische Bewertung der Raumluft erfolgte im Zuge der Begehung für die Probenahme durch die Probenehmerin oder den Probenehmer. Es handelt sich somit bei den ausgewerteten Angaben zur Sensorik um eine Einzelbewertung im Kontext einer Probenahme.

Für die VOC DB 3 sollten mindestens Angaben zur Intensität und möglichst auch zur Hedonik, Akzeptanz und Geruchsbeschreibung gemacht werden.

Auch in den Vorprojekten wurden bereits Angaben zum Geruch erfasst. In die DB 1 wurden Geruchsbeschreibungen teilweise mit Angaben zur Intensität und Quellenhinweisen

aufgenommen. Im Rahmen des zweiten Vorhabens erfolgte anstelle der Beschreibung des Geruchs eine Bewertung der Geruchsintensität auf der Grundlage des AGÖF-Geruchleitfadens (AGÖF 2013). Da es sich in beiden Fällen um freiwillige Angaben handelte, lagen Angaben zu Gerüchen nur bei einem kleineren Teil der Datensätze vor.

Der Mittelwert der für die Geruchsfälle der DB 2 genannten Intensitätswerte liegt bei 2,37. Die Geruchsintensität 2,0 (schwach) wurde am häufigsten genannt. Für die DB 3 wurde ein Mittelwert von 2,82 berechnet. Hier wurde die Geruchsintensität 3,0 (mittel) am häufigsten angegeben. Kein Raum wurde mit 0 (kein Geruch) bewertet. Vermutlich besteht bei der Intensität eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass ein mittlerer Wert angegeben wird. Die Angaben zur Hedonik und Akzeptanz lagen überwiegend im negativen also unangenehmen bzw. nicht akzeptablen Bereich. Bei der Akzeptanz wurden die schlechtesten Bewertungen - 1 und - 0,8 vergleichsweise häufig genannt (in 37 Fällen). Wohingegen die Hedonik häufiger mit -1 und -2 bewertet wurde und eine maximal negative Bewertung mit -4 nur in drei Fällen vorlag. Bei der Akzeptanz wurden am häufigsten maximal negative Bewertungen, im Sinne von „klar nicht akzeptabel“ gewählt.

Die Intensität korreliert weniger mit der Hedonik und der Akzeptanz als die Akzeptanz und die Hedonik untereinander. Gerüche mit geringer Intensität können durchaus als unangenehm und nicht akzeptabel bewertet werden bzw. ein unangenehmer Geruch wird eher als nicht akzeptabel bewertet. Das deckt sich mit der gutachterlichen Erfahrung, dass teilweise auch sehr unterschwellige Gerüche in Innenräumen als stark störend empfunden werden. Bei sensorischen Prüfungen von verschiedenen, neuen Bauprodukten gemäß DIN ISO 16000-28 konnte eine signifikante Korrelation zwischen der Intensität und der Hedonik festgestellt werden. (Umweltbundesamt 2011).

Betrachtet man die Zusammenhänge zwischen den Geruchsbewertungsgrößen und den Konzentrationen für relevante Geruchsstoffe in Innenräumen wie z.B. Naphthalin, Isononanole, Isododekeneoder Benzothiazol zeigt sich, dass keine Korrelationen zwischen Intensität bzw. Hedonik oder Akzeptanz und der Konzentration erkennbar sind. Es ist anzunehmen, dass bei einigen Stoffen die Geruchsausprägung in einem Raum sehr stark von Begleitstoffen und Hintergrundgerüchen beeinflusst wird und unabhängig von der Konzentration des vermuteten Geruchsstoffs die Geruchsausprägung intensiver oder weniger intensiv sein kann. Es muss davon ausgegangen werden, dass die für die Geruchsbildung verantwortlichen Stoffe nicht vollständig ermittelt werden. Auch methodisch bedingt sind größere Schwankungen zu erwarten, da die Geruchsintensität im Raum jeweils nur von einer Person im Zuge der Probenahme bewertet wurde. Zudem wurden hier alle Fälle herangezogen, in denen die eine Geruchsbewertung erfolgte und die Raumluftkonzentration der entsprechenden Verbindung vorlag unabhängig vom Schadensfalltyp. In einer Messung mit einer hohen Geruchsintensität und einer niedrigen Naphthalinkonzentration ist davon auszugehen, dass die Geruchsbildung durch einen anderen Stoff verursacht wurde. Deutliche Korrelationen zwischen der Geruchsintensität und den Raumluftkonzentrationen der Geruchsstoffe sind bei vergleichbarer Ursache und Raumsituation zu erwarten.

7 AP 4: Systematische Auswertung von Geruchsschadensfällen um typische Quellen / Faktoren, die zu Geruchsproblemen führen, zu identifizieren

7.1 Einleitung

Die Quellen und Ursachen für die Ausbildung von unangenehmen Gerüchen in Innenräumen sind vielfältig. Auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen und den Auswertungen der Ergebnisse sowie anhand der langjährigen Erfahrung der AGÖF-Institute können typische Geruchsbeschwerdesituationen in Innenräumen differenziert werden.

Die Auswertung setzt voraus, dass für die erfassten Geruchsfälle neben den Gebäude- und Raumdaten zusätzliche Daten zur Geruchsbildung und Quellenermittlung zur Verfügung stehen. Diese Angaben wurden für die dargestellten Fälle anhand von Fragebögen erfasst. Zusätzlich wurden die jeweiligen Gutachten ausgewertet. Ziel der Auswertung ist eine Systematisierung der Geruchsfälle nach Quellen und Ursachen sowie weiteren möglichen Einflussfaktoren.

7.2 Beschreibung von Verfahren

Gerüche und Geruchsquellen können in der Innenraumluft chemisch-analytisch oder geruchssensorisch erfasst und beurteilt werden. In vielen Fällen ist für die Aufklärung von Geruchsbelästigungen die Kombination von geruchssensorischen und chemisch-analytischen Verfahren notwendig. Der Einsatz eines Sniffing-GC-MS-Systems ermöglicht z.B. die direkte Einbindung des menschlichen Geruchssinns in ein gaschromatographisches Trennsystem und damit den olfaktorischen Nachweis von geruchsaktiven bzw. geruchsprägenden Substanzen in Raumluftproben.

Chemisch-analytische Verfahren zur Erfassung von Gerüchen in der Raumluft von Innenräumen sind messtechnisch einfach umsetzbar und ermöglichen gleichzeitig die toxikologische Bewertung der erfassten Luftinhaltsstoffe. Die Beurteilung der Konzentrationen der erfassten Luftinhaltsstoffe hinsichtlich ihrer olfaktorischen Wirkung erfordert jedoch stoffspezifische Kenndaten, wie Geruchsschwelle und Geruchsnote. Ein Ansatz zur Bewertung von Gerüchen anhand von Geruchsschwellen stellt das Geruchsleitwertkonzept des Ausschusses für Innenraumrichtwerte dar. Die Bewertung von Gerüchen über chemisch-analytisch ermittelte Raumluftkonzentrationen scheitert jedoch in einigen Fällen an verfügbaren stoffspezifischen Kenndaten. Darüber hinaus sind Wechselwirkungen zwischen mehreren Geruchssubstanzen bislang nahezu nicht erforscht. Die chemisch-analytische Bestimmung von Materialemissionen ermöglicht jedoch oftmals die Aufklärung von Ursachen für die Emission von Geruchsstoffen (z.B. Nachweis von Abbaureaktionen).

Mit Hilfe von geruchssensorischen Untersuchungsverfahren ist der Nachweis von Geruchsquellen oder die Differenzierung von Primär- und Sekundärquellen möglich. Die geruchssensorischen Verfahren beinhalten dabei sowohl das „einfache Schnüffeln“ an Oberflächen innerhalb der betreffenden Räumlichkeiten bis hin zu systematischer Entnahme von Materialproben und deren olfaktorische Bewertung unter kontrollierten Bedingungen mit einer Prüfgruppe. Darüber hinaus erfordern gutachterliche Fragestellungen oftmals die objektivierte Bewertung der vorliegenden Raumluftqualität bzw. den gutachterlichen Nachweis einer Geruchsbelästigung mit einer geschulten Prüfgruppe.

7.2.1 Chemisch-Analytische Erfassung von Gerüchen

7.2.1.1 Raumluftmessungen

Die Bestimmung von flüchtigen organischen Verbindungen in Innenräumen erfolgt bei gutachterlichen Fragestellungen zu Geruchsbelästigungen in der Regel nach der Normenreihe der DIN EN ISO 16000. Dabei sind insbesondere die Normen DIN EN ISO 16000-1 (Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie), EN ISO 16000-5 (Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen) und DIN ISO 16000-6 (Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammer – Probenahme auf Tenax TA, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID) relevant. Darüber hinaus können für einzelne Fragestellungen die DIN ISO 16000-3 (Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen – Probenahme mit einer Pumpe) sowie die VDI 4300 Blatt 2 (Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB)) relevant sein.

Allen genannten Verfahren ist gemeinsam, dass die Probenahme aktiv durch Ansaugen von Raumluft über ein Probenahmemedium (z.B. Tenax, DNPH-Kartusche, etc.) erfolgt. Die Luftinhaltsstoffe werden dabei in den Probenahmemedien angereichert und in Laboratorien weiter aufbereitet und analysiert. Die Probenahme erfolgt im Regelfall zunächst im Gleichgewichtszustand etwa acht Stunden nach einer Grundlüftung. Zusätzlich können weitere Messpunkte wie z.B. bei Mobilisierung (z.B. durch Unterdruckhaltung) oder unter Nutzungsbedingungen (z.B. Probenahme eine Stunde nach Lüftung) zur Aufklärung von Geruchsbelästigungen beitragen.

7.2.1.2 Bibliotheksrecherche

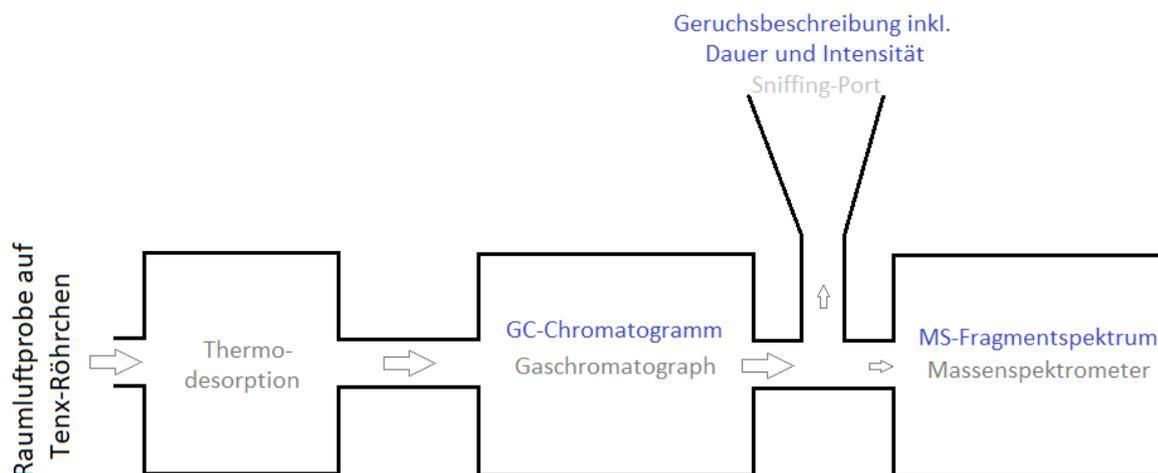
Alle nicht über Standards identifizierten und quantifizierten Peaks werden anhand der Massenspektren mit den idealen Massenspektren aus einer Spektrenbibliothek (Bibliotheksrecherche) ausgewertet. Jedem Peak werden dabei über die Auswertungssoftware drei Bibliotheksvorschläge in Abhängigkeit von der Übereinstimmung mit dem idealen Massenspektrum der Spektrenbibliothek (z.B. NIST 14) zugeordnet.

Mittels automatisierter Bibliotheksrecherche ist keine eindeutige Identifizierung der Substanzen möglich. Allerdings ermöglicht diese eine Auswertung von Substanzpeaks, die in standardisierten Untersuchungen nicht quantitativ erfasst werden. Darüber hinaus können auch ohne eindeutige Identifizierung gleiche Substanzpeaks aus mehreren Proben quantitativ miteinander verglichen werden (z.B. Vergleich von Raumluftproben mit quellnaher Beprobung; Vergleich von Raumluftproben, die unter variierenden Umgebungsbedingungen erfasst werden).

7.2.1.3 Sniffing-GC

Der Aufbau eines TDS-GC-MS/O (Sniffing-GC-MS) ermöglicht die Einbindung des menschlichen Geruchssinnes in ein TDS-GC-MS-System zur Identifizierung von Geruchsstoffen in Raumluftproben (Abbildung 42).

Abbildung 42: Schematische Darstellung eines TDS-GC-MS/O (Sniffing-GC-MS) zur olfaktorischen Analyse von Raumlufthproben.



Quelle: eigene Darstellung, AnBUS e.V.

Die Probenahme von flüchtigen organischen Verbindungen erfolgt über Adsorption auf Tenax-Adsorbens-Röhrchen. Damit werden die VOC vor der GC-Injektion aufkonzentriert. Das Tenax-Adsorbens-Röhrchen enthält ein polymeres Adsorbierharz aus Poly(2,6-diphenyl-p-phenylenoxid). Die Adsorption erfolgt, indem mit einer Pumpe die Raumlufthprobe über das Tenax-Adsorbens-Röhrchen gesaugt wird (i.d.R. 1-8 Liter). Die Desorption erfolgt durch das Durchspülen der Tenax-Röhrchen mit einem heißen Inertgasstrom (Primärdesorption), gefolgt von der Anreicherung in einer Kühlfalle und einer anschließenden erneuten Desorption (Sekundärdesorption). Über eine Transferleitung gelangt das Probengasgemisch auf die Säule des Gaschromatographen und wird dort in die einzelnen Substanzen aufgetrennt. Der Proband am Sniffing-Port identifiziert zeitaufgelöst über die Dauer der gaschromatografischen Auftrennung (ca. 45 Minuten) die einzelnen Geruchspeaks der Raumlufthprobe, beschreibt deren Geruchsnote und dokumentiert Intensität und Dauer. Das parallel aufgenommene Massenfragmentspektrum ermöglicht die Identifizierung der entsprechenden geruchsaktiven Substanzen.

7.2.2 Sensorische Bewertung von Gerüchen

Eine durch Nutzende subjektiv empfundene Geruchsbelästigung kann durch standardisierte personengebundene sensorische Prüfverfahren weitestgehend objektiviert werden. Standardisierte Prüfverfahren sind im AGÖF-Geruchsleitfaden, der VDI 4302 (Geruchsprüfung von Innenraumlufth und Emissionen aus Innenraummaterialien – Grundlagen) und der ISO 16000-30 (Sensorische Prüfung der Innenraumlufth) aufgeführt. Ziel der standardisierten Prüfverfahren ist die systematische sensorische Bewertung der Raumlufthqualität anhand der Parameter Intensität, Hedonik und Akzeptanz.

Bei personengebundenen Verfahren wird zwischen der Geruchsprüfung vor Ort und der vom Probenahmeort entkoppelten Bewertung der Geruchspuben im Labor unterschieden. Beide Verfahren finden in der Praxis Anwendung, sind jedoch je nach Fragestellung in ihrer Aussagefähigkeit eingeschränkt. Das z.B. endliche Probenvolumen von 1000l, die Notwendigkeit einer zeitnahen Bewertung der Proben sowie Adsorptions- und Abbaueffekte in den Probenahmebeuteln erfordern gerade bei einem großen Probenumfang einen hohen logistischen Aufwand bei Geruchsprüfungen im Labor. Dem gegenüber steht eine mögliche

Adaption von Gerüchen oder eine Beeinflussung der Prüfenden durch die Umgebung bei einer Geruchsprüfung vor Ort.

7.2.3 Identifizierung von Geruchsquellen

Zur Identifizierung von VOC-Quellen werden gemäß EN ISO 16000-5 folgende Vorgehensweisen als geeignet angesehen:

- ▶ sensorische Prüfung,
- ▶ Vergleich der Ergebnisse von Luftmessungen in der Raummitte und in der Nähe der potenziellen Quelle,
- ▶ Einsatz einer transportablen Emissionsprüfzelle (ISO 16000-10),
- ▶ Entnahme von Materialproben für Laboruntersuchungen.

7.2.3.1 Chemisch-Analytische Verfahren

7.2.3.1.1 Quellnahe Luftmessungen

Mit quellnahen Luftmessungen sind qualitative Aussagen zur Emissionsquelle von Geruchsstoffen möglich. Dabei werden Luftproben aus angrenzenden Hohlräumen (z.B. Kabelkanäle, Doppelboden, abgehängte Decke, etc.) entnommen. Darüber hinaus können statische Messzellen aus Edelstahl eingesetzt werden, um das Emissionsverhalten raumseitiger Oberflächen zu erfassen. Die statischen Messzellen werden nach dem Lüften auf die jeweilige Oberfläche aufgebracht und es wird nach Einstellung des Gleichgewichtszustandes eine Luftprobe entnommen.

Über den Vergleich der Raumluftmessungen mit den Ergebnissen der quellnahen Luftmessungen können Emissionsquellen für einzelne Substanzen oder Substanzgruppen zugeordnet werden.

7.2.3.1.2 Transportable Emissionsprüfzellen

Mit transportablen Emissionsprüfzellen nach EN ISO 16000-10 können flächenspezifische Emissionsraten von Bauprodukten bzw. raumseitigen Oberflächen quantitativ und zerstörungsfrei ermittelt werden. Voraussetzung hierfür ist ein Reinlufterzeugungs- und Befeuchtungssystem inkl. Aufzeichnungs- und Regelsystemen. Aufgrund des hohen messtechnischen Aufwandes ist dieses Verfahren vergleichsweise teuer in der Anwendung.

7.2.3.1.3 Prüfkammer

Mit Prüfkammeruntersuchungen (z.B. nach DIN EN 16516) sind ebenfalls quantitative Aussagen zur flächenspezifischen Emissionsrate von Bauprodukten oder Wand- und Bodenaufbauten möglich. Da die erforderliche Prüfstückgröße zwischen 0,1 und 0,25 m² liegt, stellt die Entnahme der Proben einen erheblichen Eingriff in die Gebäudesubstanz dar.

7.2.3.1.4 Headspace

Die Headspace-Analyse ist eine Methode zur Ermittlung der Konzentration flüchtiger Stoffe in der Gasphase oberhalb eines Materials. Dazu wird das Material in einem Headspace-Gläschen bei erhöhter Temperatur (60 – 80°C) erhitzt, bis sich eine Ausgleichskonzentration zwischen Material und Gasphase eingestellt hat. Aus der Gasphase wird eine Probe entnommen und ohne weiteren Anreicherungsschritt ins GC-MS-System überführt. Für viele Geruchsstoffe ist die Methode jedoch nicht ausreichend empfindlich.

7.2.3.1.5 Thermodesorption

Das Analyseverfahren dient zur Ermittlung von Emissionen aus nichtmetallischen Materialien in Anlehnung an die VDA 278. Hierbei wird die Probe in ein Thermodesorptionsröhrchen eingebracht und im Heliumstrom unter definierten Bedingungen erhitzt (90 bzw. 120°C). Die dabei ausgasenden Substanzen werden in einer Kühlfalle aufgefangen (Purge-and-Trap-Verfahren). Nach Beendigung der Heizperiode werden die kryofokussierten Stoffe kapillargaschromatographisch aufgetrennt und massenspektroskopisch (GC-MS) detektiert. Aufgrund der Anreicherung in der Kryofokussierung ist die Methode im Vergleich zum Headspace-Verfahren deutlich empfindlicher und dadurch besser zum Nachweis von Geruchsstoffen mit niedriger Geruchsschwelle geeignet.

7.2.3.2 Geruchssensorische Verfahren

7.2.3.2.1 VDA 270

Die VDA 270 beschreibt die Durchführung von Geruchsprüfungen zur Bestimmung des Geruchsverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-Innenausstattung. Hierzu wird das jeweils zu untersuchende Material mit einer definierten Oberfläche oder Masse in ein definiertes Volumen eingebracht (z.B. Gläser) und einmal bei Raumtemperatur (23 °C) und einmal bei erhöhte Temperatur (40 °C) jeweils unter erhöhter Feuchte (Zugabe von 50 ml Wasser) geprüft. Für die Prüfung sind je nach Fragestellung 3 bis 5 Prüfende notwendig. Die Prüfenden bewerten den Geruchseindruck im Gleichgewichtszustand mit folgenden Noten:

- ▶ Note 1 – nicht wahrnehmbar;
- ▶ Note 2 – wahrnehmbar, nicht störend;
- ▶ Note 3 – deutlich wahrnehmbar, aber noch nicht störend;
- ▶ Note 4 – störend;
- ▶ Note 5 – stark störend;
- ▶ Note 6 – unerträglich.

Die Bewertung stellt somit eine Mischbewertung aus Intensität und der Akzeptanz des Geruchseindrucks dar. Die Vorgehensweise nach VDA 270 stellt ein semiquantitatives Verfahren dar, da über die normierte Beladung innerhalb der Probenbehältnisse ein semiquantitativer Vergleich der Geruchsquellestärke unterschiedlicher Materialien möglich ist. Darüber hinaus kann über die Geruchsbeschreibung der einzelnen Proben die Quellen für Störgerüche identifiziert werden.

7.2.3.2.2 Prüfkammer

Die sensorische Prüfung von Baumaterialien in Prüfkammern ist in der DIN ISO 16000-28 beschrieben. Durch die normierte Vorgehensweise (Beladung, Luftwechsel) sind quantitative Aussagen zur Geruchsquellestärke und identifizierten Geruchsstoffen möglich. Die Prüfenden bewerten die Intensität, Hedonik und Akzeptanz der aus der Prüfkammer entnommenen Luftproben unter kontrollierten Bedingungen.

Da die erforderliche Prüfstückgröße zwischen 0,1 und 0,25 m² liegt, stellt die Entnahme der Proben einen erheblichen Eingriff in die Gebäudesubstanz dar.

7.2.4 Bestimmung weiterer Einflussparameter

7.2.4.1 Luftwechselbestimmung

Die Bestimmung des Luftwechsels erfolgt nach VDI 4300 Blatt 7 (Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen) oder DIN EN ISO 12569 (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung des Luftwechsels von Gebäuden – Indikatorgasverfahren). Als Tracergas eignen sich unter anderem Wasserstoff (H₂), Kohlendioxid (CO₂) oder Schwefelhexafluorid (SF₆). Wasserstoff (als Formiergas mit maximal 5 % Wasserstoffgehalt) und Kohlendioxid stellen vor dem Hintergrund der verfügbaren Messtechnik und Gasflaschen die kostengünstigsten Varianten dar. Beim Einsatz von CO₂ ist die ubiquitäre CO₂-Konzentration sowie der Einfluss von Personen in den zu untersuchenden Innenräumen (CO₂-Gehalt der Atemluft) zu berücksichtigen.

Zur Bestimmung des Luftwechsels wird das Tracergas mittels Gasflaschen in die Raumluft eingeblasen und nach der Homogenisierung die Abklingkurve mittels Datenloggern erfasst.

Der Luftwechsel des Raumes während der Aufzeichnung ergibt sich aus dem negativen Exponenten der um die Hintergrundkonzentration korrigierten exponentiellen Abklingkurve. Der ermittelte Luftwechsel umfasst neben dem Infiltrationsluftwechsel (Außenluftwechsel) je nach Bauweise auch interzonale Strömungen innerhalb des Gebäudes (z.B. über Innentüren, Leichtbauwände, abgehängte Decken, etc.).

7.2.4.2 Unterdruckhaltung

Geruchsstoffe können auch über angrenzende Bauteile (Boden- oder Deckenhohlräume, Kamine, etc.) oder Gebäudeteile (Keller, Stockwerke, etc.) in die Raumluft eingetragen werden. Der Eintrag der Geruchsstoffe wird dabei von der Anzahl bzw. dem Ausmaß von Leckagen (Luftverbindungen) sowie der Druckdifferenz zu den angrenzenden Bauteilen oder Gebäudeteilen bestimmt. Diesbezügliche Geruchsbelästigungen liegen demzufolge auch oftmals nicht kontinuierlich vor, da die Druckdifferenz von zahlreichen zufälligen Faktoren (thermische Effekte, Außenklima – Wind, geöffnete Fenster, etc.) beeinflusst wird.

Durch eine gezielte Unterdruckhaltung kann der Einfluss solcher zufälligen Faktoren minimiert und so Eintrittswege von Geruchsstoffen sensorisch ermittelt werden. Die Unterdruckhaltung kann mit einem Gebläse erfolgen. Bei einem Unterdruck von ca. 25 bis 50 Pascal gegenüber den angrenzenden Bauteilen und Gebäudeteilen werden die Geruchsstoffe mobilisiert und über Leckagen in die Raumluft eingetragen. Die Lokalisierung der Leckagen bzw. der Nachweis der Luftströmungen erfolgt geruchssensorisch oder mit Unterstützung von Nebel (optischer Nachweis) oder Tracergas (messtechnischer Nachweis).

7.3 Fallgruppe 1 – Unzureichender Luftaustausch

Die Gleichgewichtskonzentration an VOC in einem Innenraum ist im quasistationären Zustand neben der Emissionsrate der Baustoffe vom Luftaustausch im Innenraum abhängig. Mathematisch liegt eine indirekte Proportionalität zwischen der Gleichgewichtskonzentration und dem Luftwechsel vor. Unter Annahme eines quasistationären Zustandes führt die Halbierung des Luftwechsels somit zu einer Verdopplung der Gleichgewichtskonzentration.

In Innenräumen ist ein kontinuierlicher Luftaustausch zum Abtransport von Feuchte- und Stofflasten zwingend erforderlich. Bei einem sehr niedrigen Luftwechsel können schon geringfügige Emissionsquellen zu erheblichen Raumluftkonzentrationen führen. Darüber hinaus sind Sekundäreffekte (Anreicherung auf raumseitigen Oberflächen) möglich. Anhaltspunkte für

hygienisch notwendige Luftwechselraten sind der DIN 1946-6 und dem AgBB-Schema zu entnehmen:

- ▶ DIN 1946 Teil 6: je nach Bauweise und Raumgröße ist zum Feuchteschutz ein nutzerunabhängiger Luftwechsel zwischen 0,12 und 0,27 /h sicherzustellen. Unter Berücksichtigung von Stofflasten (u.a. Baustoffemissionen) wird je nach Raumgröße ein nutzerunabhängiger Luftwechsel zwischen 0,29 und 0,53 /h gefordert. Für Nutzungseinheiten mit weniger als 30 m² (75 m³) wird aufgrund des signifikant größeren Oberflächen/Volumenverhältnisses ein einheitlicher Volumenstrom von 15 m³/h (Feuchteschutz) und 40 m³/h (Feuchteschutz + Stofflasten) festgelegt.
- ▶ AgBB-Schema: nach dem AgBB-Schema wird das Emissionsverhalten der Baustoffe bei einer realitätsnahen Raumbeladung (nach Musterraum) bei einem Luftwechsel von 0,5 /h geprüft. Das AgBB-Schema verweist bei der Dimensionierung der Luftwechselrate auf die DIN 1946-6.

Darüber hinaus führt ein zu geringer Luftaustausch zu einem starken Anstieg der CO₂-Konzentration. Die CO₂-Konzentration dient dabei zum einen als Parameter für nutzerspezifische Emissionen bzw. die Raumluftqualität. Andererseits sind für hohe CO₂-Konzentrationen auch Einflüsse auf die Konzentrationsfähigkeit des Menschen bekannt.

7.3.1 Fall 1: Verwaltungsgebäude

In einem großen Verwaltungsgebäude gibt es seitens der Beschäftigten zahlreiche Beschwerden über Geruchsbelästigungen, eine schlechte Raumluftqualität und damit verbundene Befindlichkeitsstörungen und gesundheitliche Beeinträchtigungen. Das Gebäude (Baujahr Ende 19. Jahrhundert) wurde vor dem Bezug durch die Verwaltung umfangreich saniert (insbesondere energetische Sanierung, Erneuerung der IT-Infrastruktur, Sanierung von Wand- und Bodenoberflächen). Seitens der Beschäftigten wird der Verdacht geäußert, dass die Geruchsbelästigung und die damit verbundene schlechte Raumluftqualität auf den Linoleumboden und im Gebäude verbliebene alte Netzwerkkabel zurückzuführen sind.

Zur Ursachenklärung und der Erarbeitung konkreter Lösungsmöglichkeiten wurden folgende Verfahren eingesetzt:

- ▶ Geruchssensorische Bewertung der Raumluftqualität nach dem AGÖF-Geruchsleitfaden in 50 Büroräumen und quellnahe Bewertung potentieller Geruchsquellen (Prüfgruppe mit 9 Personen),
- ▶ Chemisch-analytische Raumluftmessungen auf VOC (ca. 25 Messpunkte) und quellnahe Beprobung potentieller Quellen mit statischen Messzellen (Boden- und Wandaufbau) und Probenahme aus Bauteilhohlräumen (Kabelkanäle),
- ▶ Bestimmung des Luftwechsels in 10 Büroräumen.

Die geruchssensorische Bestandsaufnahme ergab eine sehr breite Streuung bezüglich der Geruchsintensität, Hedonik, Akzeptanz und der Geruchsnoten. Auffällig war dabei ein sehr starker Einfluss von nutzerbedingten Gerüchen auf die wahrgenommene Raumluftqualität (Kaffee, Tee, gelagerte Kosmetika, Biomüll – Bananenschale oder Kerngehäuse eines Apfels). Hinzu kamen Einflüsse der Möbel, des Bodenbelags (charakteristischer Linoleumgeruch) und Emissionen der Kabelkanäle in stark schwankender Ausprägung. Die Ergebnisse der geruchssensorischen Bestandsaufnahme korrelierten sehr gut mit den gemeldeten Beschwerderäumen.

Die ermittelten Summenkonzentrationen der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) lagen zwischen 150 und 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und im Mittel bei etwa 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Das VOC-Spektrum setzte sich insbesondere aus Aldehyden und organischen Säuren zusammen. Anhand der Ergebnisse der quellenahen Beprobung mittels statischer Messzellen, konnte als Emissionsquelle für die Aldehyde und organischen Säuren der Bodenaufbau zugeordnet werden. An etwa der Hälfte der Messpunkte wurde der Summenrichtwert (RWI) der azyklischen aliphatischen Aldehyde geringfügig überschritten (Maximalwert: 126 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Der charakteristische Geruch der Kabelkanäle (schweißig/dumpf) konnte chemisch-analytisch nicht zugeordnet werden. Die Ergebnisse der Raumluftmessungen zeigten auch bei substanz- bzw. substanzgruppenspezifischer Auswertung keine Korrelation mit der geruchssensorischen Bestandsaufnahme.

Die ermittelten Luftwechselraten lagen mehrheitlich zwischen ca. 0,10 /h und 0,15 /h.

Zusammenfassend konnten keine systematischen Zusammenhänge zwischen der festgestellten Geruchsbelästigung und den chemischen Raumluftuntersuchungen ermittelt werden. Die Geruchseindrücke waren in nahezu jedem einzelnen Raum unterschiedlich und auf eine Vielzahl unterschiedlicher Quellen zurückzuführen. Als Ursache für die geruchssensorisch festgestellte Geruchsbelästigung in weiten Teilen des Gebäudes ist ein unzureichender Luftaustausch aufgrund der energetischen Sanierung (insbesondere Erneuerung der Fenster) anzusehen. Der Einfluss des unzureichenden Luftaustauschs wird anhand folgender Beobachtungen verdeutlicht:

- ▶ Bereits kurze Zeit (ca. 30 Minuten) nach intensivem Lüften (Querlüftung über mind. 15 Minuten) ist wieder ein signifikanter Störgeruch in den Büroräumen wahrnehmbar.
- ▶ Bereits sehr kleine Emissionsquellen (eine Bananenschale, Kerngehäuse eines Apfels) führen zu einem raumprägenden Störgeruch.

Da aufgrund der Nutzung als Büroräume in dem Verwaltungsgebäude mit Anwesenheitszeiten von etwa 20-25 % zu rechnen ist, wurden nutzerabhängige Lüftungsmaßnahmen (Lüftungsplan) als nicht vielversprechend angesehen. Deshalb wurden zur Sicherstellung eines bauphysikalisch und hygienisch notwendigen Luftwechsels technische Maßnahmen empfohlen (technische Lüftung). Ein Austausch von identifizierten Teilgeruchsquellen (Kabelkanäle, Bodenbelag) wurde explizit nicht empfohlen.

7.3.2 Fall 2: Neu erstellter Anbau eines Bürogebäudes

In einem neu erstellen Anbau eines Bürogebäudes werden seitens der Beschäftigten unangenehme Gerüche in den Büroräumen bemängelt. Die durchgeführten Untersuchungen umfassten eine geruchssensorische Bestandsaufnahme durch einen geschulten Prüfer, die Erfassung von VOC in drei Büroräumen und exemplarische, vergleichende Raumluftmessungen von Boden, Wänden und Möbeln mittels statischen Messzellen sowie die Bestimmung des Luftwechsels.

In allen untersuchten Büroräumen konnten signifikante Störgerüche festgestellt werden, die geruchssensorisch dem Bodenbelag (Teppichboden), der Möblierung und in den Büroräumen befindlichen Pflanzen zuzuordnen waren. Die TVOC-Gehalte lagen zwischen 180 und 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Richtwerte (RWI) wurden deutlich unterschritten. Die substanzspezifische Auswertung ergab Auffälligkeiten für einzelne Aldehyde (signifikante Überschreitung von Geruchsschwellen). Die ermittelten Luftwechselraten lagen zwischen 0,05 /h und 0,06 /h.

Da die ermittelten Luftwechselraten erheblich unterhalb des bauphysikalisch und hygienisch notwendigen Luftwechsels liegen, wurde die technische Erhöhung des Luftaustausches durch eine Erweiterung der bestehenden zentralen Umluftklimaanlage empfohlen.

7.3.3 Fall 3: Verwaltungsgebäude auf einem Industriepark

In einem Büro in einem Verwaltungsgebäude innerhalb eines Industrieparks werden durch die Beschäftigten unangenehme Gerüche bemängelt. Als Verdachtsmomente werden ein ehemaliger Wasserschaden sowie Einträge über die Außenluft (Emissionen aus der Produktion) genannt. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme durch zwei geschulte Prüferinnen und Prüfer inkl. Prüfung von Geruchseinträgen bei Unterdruckhaltung, die Erfassung von VOC in der Raumluft (Messung im Gleichgewichtszustand und unter Nutzungsbedingungen) und quellnahe Raumluftmessungen von Boden, Wänden und Randleisten mittels statischen Messzellen sowie die Bestimmung des Luftwechsels. Die Raumluftproben und die quellnahen Raumluftmessungen wurden mittels Sniffing-GC/MS ausgewertet.

In dem betroffenen Büroraum konnte beim Betreten ein raumprägender unangenehmer süßlich-aromatisch-säuerlicher Geruch mit hoher Intensität wahrgenommen werden. Der Geruch wurde jedoch innerhalb weniger Minuten adaptiert. Geruchssensorisch konnten zwei unterschiedliche Bereiche im Raum identifiziert werden, in denen die Verklebung der Randleistenhalterung deutliche Verfärbungen aufwies (jeweils auf einer Länge von ca. 1m). Einer dieser Bereiche wies den raumprägenden Geruch auf (süßlich-aromatisch-säuerlich) auf, während im anderen Bereich (nicht raumprägend) ein muffig-pilzartiger Geruch wahrnehmbar war. Externe Geruchseinträge lagen während des Ortstermins nicht vor.

Die TVOC-Gehalte lagen zwischen 410 (Gleichgewichtszustand) und 264 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Nutzungsbedingungen). Unter Nutzungsbedingungen wurde der Richtwert (RWI) für Styrol knapp überschritten. Hierbei ist von einem externen Eintrag über die Außenluft auszugehen. Weitere Richtwerte (RWI) wurden deutlich unterschritten. Die substanzspezifische Auswertung des quantifizierten Substanzspektrums der Raumluftproben und quellnahen Proben ergaben unter olfaktorischen Gesichtspunkten keine Auffälligkeiten. Bei der Auswertung mittels Sniffing-GC konnte der raumprägende Geruch in der Raumluftprobe und der vergleichenden Raumluftprobe der Randleiste eindeutig einem intensiven Geruchspeak mit der süßlich-aromatisch-säuerlichen Geruchsnote zugeordnet werden. Mittels Bibliotheksrecherche konnte im betreffenden Retentionsbereich eine Signalüberlagerung von Ethylhexansäure und Methoxyphenol nachgewiesen werden. Der messtechnisch erfasste Luftwechsel im Raum lag bei 0,04 /h.

Als Geruchsquelle konnte mittels Sniffing-GC eindeutig die Verklebung der Randleistenhalterung identifiziert werden. Die Geruchsemissionen konnten auf eine Länge von etwa einen Meter eingegrenzt werden, in welchem der Kleber schon sehr deutliche Verfärbungen (Abbau des Klebers) aufwies. Als Ursache für die Geruchsbelästigung ist jedoch der unzureichende Luftaustausch anzusehen.

Als Sanierungsansatz wurde zunächst ein Austausch der Randleistenhalterung inkl. Entfernung des verfärbten Klebers empfohlen. Aufgrund der Raumhöhe (ca. 4m) und der vergleichsweise geringen Belegung (8 Beschäftigte auf 120 m^2) wurde die Umsetzung eines Lüftungskonzeptes inkl. Überwachung der hygienischen Raumluftqualität über den CO_2 -Gehalt der Raumluft empfohlen.

7.4 Fallgruppe 2 – Bauteiloberflächen

7.4.1 Bodenbeläge

7.4.1.1 Teppichboden

Die weltweite Produktion von Teppich beträgt etwa $2,5 \times 10^9 \text{ m}^2$ pro Jahr. Bezogen auf die Fläche werden dabei 55 % Nylon, 34 % Polypropylen, 5 % Polyester und 3 % Wolle verarbeitet. Die Mehrheit der Teppichböden befindet sich in Wohnräumen (68 %), während die restlichen 32 % in Gewerberäumen verarbeitet werden (Moody et al., 2004).

Störgerüche, die bei der Verlegung von textilen Bodenbelägen auftreten, können stark vereinfacht in drei Hauptgruppen aufgeteilt werden:

- ▶ Typischer Neugeruch, der in der Regel auf 4-Phenylcyclohexen zurückzuführen ist, unmittelbar nach dem Verlegen des Bodenbelages auftritt und ein deutliches Abklingverhalten innerhalb weniger Wochen aufweist.
- ▶ Ein erst nach Wochen oder Monaten bemerkbarer Geruch, der sich zu einer anhalten geruchlichen Grundbelastung entwickelt. Dieses Geruchsbild ist häufig auf Abbaureaktionen der eingesetzten Bodenbelagsklebstoffe zurückzuführen.
- ▶ Atypischer Störgeruch mit einer leicht säuerlich, stechend-dumpfen Grundnote ohne deutlich wahrnehmbares Abklingverhalten und diffuser zeitlicher Entwicklung. In diesem Zusammenhang werden oftmals erhöhte Raumluftkonzentrationen von verzweigten mehrheitlich C12-Alkenen (Dodecenisomere) nachgewiesen.

7.4.1.1.1 Fall 1: Geruchsbelästigung in einer Bürofläche nach Austausch des Bodenbelages

In einem Bürogebäude wird nach dem Austausch des Teppichbodens eine erhebliche Geruchsbelästigung seitens der Mieterinnen und Mietern beklagt. Der Geruch wird als chemisch beschrieben, welcher für Teppichbodengeschäfte charakteristisch sei. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme durch zwei geschulte Prüfer, die Erfassung von VOC in der Raumluft und quellnahe Raumluftmessungen vom Bodenaufbau mittels statischen Messzellen. Die Untersuchungen wurden in drei exemplarisch ausgewählten Räumen durchgeführt.

In der orientierenden, sensorischen Prüfung wurde in den nicht gelüfteten Räumen ein unangenehmer, sehr intensiver, dumpf chemisch-stechend mit leichter süßlicher Unternote zu charakterisierender Geruch festgestellt, der eindeutig als nicht akzeptabel zu bewerten war. Die TVOC-Gehalte lagen im Gleichgewichtszustand zwischen 500 und $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Richtwerte (RWI) wurden nicht überschritten. Die substanzspezifische Auswertung des quantifizierten Substanzspektrums der Raumluftproben und quellnahen Proben ergaben unter olfaktorischen Gesichtspunkten folgende Auffälligkeiten:

- ▶ Dodecenisomere:
 - Raumluft: ca. $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (semiquantitative Bestimmung über den M⁺-Peak von 1-Dodecen)
 - Messzellen Bodenaufbau: ca. $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ▶ Acetophenon:
 - Raumluft: ca. $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- Messzellen Bodenaufbau: ca. 120 µg/m³

Als Geruchsquelle konnte damit sowohl geruchssensorisch als auch chemisch-analytisch eindeutig der Bodenaufbau zugeordnet werden. Das nachgewiesene Substanzspektrum korreliert dabei sehr gut mit den geruchssensorischen Erkenntnissen (Acetophenon: süßlich; Dodecenisomere: dumpf-chemisch-stechend). Während Acetophenon eine charakteristische Emission des verwendeten Teppichklebers und/oder der Spachtelmasse darstellt, ist der Nachweis der Dodecenisomere auf den Teppichboden bzw. die Primärrückenbeschichtung zurückzuführen.

Aufgrund der erheblichen Geruchsemissionen wurde der Austausch des Teppichbodens empfohlen. Die empfohlene Sanierungsstrategie wurde vom Eigentümer des Gebäudes erfolgreich umgesetzt.

7.4.1.1.2 Fall 2: Geruchsbelästigung in einer Bürofläche nach Kernsanierung

Nach der Kernsanierung eines Laborbereiches (Umnutzung als Bürofläche) werden von den Beschäftigten sukzessiv zunehmend Beschwerden über unangenehme Gerüche, Befindlichkeitsstörungen und allergische Reaktionen geäußert. Der Geruch wird von den Beschäftigten als kunststoff- und brandartig beschrieben. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme durch zwei geschulte Prüfer inkl. Prüfung von Geruchseinträgen bei Unterdruckhaltung, die Erfassung von VOC in der Raumluft und quellnahen Raumluftmessungen von Boden und Wänden mittels statischen Messzellen sowie aus Rollokästen und unter dem Estrich und die Bestimmung des Luftwechsels. Darüber hinaus wurde von Einzelmaterialien das Emissionspotential flüchtiger organischer Verbindungen mittels Thermodesorption bestimmt (Teppichboden, Kleber, Estrich, Sonnenschutzrollo). Die Untersuchungen wurden in 7 exemplarisch ausgewählten Räumen durchgeführt.

Die geruchssensorische Bestandsaufnahme ergab zwei wesentliche Geruchsemissionsquellen:

- ▶ Teppichboden: In der gesamten Etage ist ein charakteristischer, dumpf-chemischer Geruch wahrnehmbar, der geruchssensorisch dem Teppichboden zugeordnet werden kann. Bezogen auf die Intensität des Geruchs lag eine Korrelation zwischen dem ermittelten Luftwechsel und der Ausrichtung der Fensterfront vor. Die Räume mit südlicher Ausrichtung wiesen eine signifikant höhere Intensität im Vergleich zu den Räumen mit nördlicher Ausrichtung auf.
- ▶ Sonnenschutzrollos: In den Räumen mit südlicher Fensterausrichtung war ein süßlich-kunststoffartiger, leicht brenzlicher Geruch wahrnehmbar. Geruchssensorisch konnte dieser Geruch dem Rollokasten bzw. den Sonnenschutzrollos zugeordnet werden.

Die TVOC-Gehalte in der Raumluft lagen im Gleichgewichtszustand zwischen 80 und 260 µg/m³. Richtwerte (RWI) wurden nicht überschritten. Die substanzspezifische Auswertung des quantifizierten Substanzspektrums der Raumluftproben und quellnahen Proben ergaben unter olfaktorischen Gesichtspunkten folgende Auffälligkeiten:

- ▶ Dodecenisomere:
 - Raumluft: ca. 10 - 30 µg/m³ (semiquantitative Bestimmung über den M⁺-Peak von 1-Dodecen)
 - Messzellen Bodenaufbau: ca. 100 - 230 µg/m³
 - Thermodesorption: ca. 500 mg/kg

- ▶ Emissionen der Sonnenschutzrollos: über vergleichende Luftuntersuchungen aus dem Rollokasten und Materialuntersuchungen (Thermodesorption) konnten organische Säuren und phenolische Verbindungen als die maßgeblich geruchsprägenden Substanzen identifiziert werden. Darüber hinaus war ein erhebliches Emissionspotential für Phthalsäureanhydrid nachweisbar, welches auf signifikante Abbaureaktionen des Sonnenschutzrollos schließen lässt.

Die ermittelten Luftwechselraten lagen zwischen 0,1 und 0,2 /h.

Anhand der chemisch-analytischen Untersuchungen des Teppichbodens (vergleichende Raumluftuntersuchungen, Thermodesorption) konnte der geruchssensorisch nachgewiesene Teppichbodenfehlgeruch plausibilisiert werden. Aufgrund der erheblichen Geruchsemissionen wurde der Austausch des Teppichbodens empfohlen. Darüberhinausgehende Maßnahmen waren der Austausch der Sonnenschutzrollos und die technische Erhöhung des Luftwechsels in allen Büroräumen.

7.4.1.1.3 Fall 3: Geruchsbelästigung in einer Bürofläche nach Austausch des Bodenbelags

In einem Bürogebäude wurde ein neuer Teppichboden verlegt. Seitdem treten massive Beschwerden über „Teppichbodengerüche“ seitens der Beschäftigten auf. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme durch zwei geschulte Prüfer und inkl. Prüfung von Geruchseinträgen bei Unterdruckhaltung, die Erfassung von VOC in der Raumluft und quellnahe Raumluftmessungen vom Bodenaufbau mittels statischen Messzellen und die Bestimmung des Luftwechsels. Die Untersuchungen wurden in zwei exemplarisch ausgewählten Büroräumen durchgeführt. Darüber hinaus wurde von einer entnommenen Teppichprobe das Emissionspotential der flüchtigen organischen Verbindungen in der Prüfkammer untersucht (Beladung und Luftwechsel nach AgBB-Schema).

In der orientierenden sensorischen Prüfung wurden in den nicht gelüfteten Räumen ein unangenehmer, sehr intensiver, dumpf chemisch-stechend zu charakterisierender Geruch festgestellt, der als eindeutig nicht akzeptabel zu bewerten war. Geruchssensorisch konnte dieser Geruch eindeutig dem Bodenaufbau zugeordnet werden. Die TVOC-Gehalte lagen im Gleichgewichtszustand bei ca. 800 µg/m³. Richtwerte (RWI) wurden nicht überschritten. Die substanzspezifische Auswertung ergab signifikante Emissionen von Dodecenisomeren:

- ▶ Raumluft (bei Luftwechsel von 0,04 /h): ca. 350 µg/m³ (semiquantitative Bestimmung über den M+-Peak von 1-Dodecen)
- ▶ Messzelle Boden: ca. 1000 µg/m³
- ▶ Prüfkammer (Beladung 0,4 m²/m³, Luftwechsel: 0,5 /h): ca. 450 µg/m³

Als Geruchsquelle konnte damit sowohl geruchssensorisch als auch chemisch-analytisch eindeutig der Bodenaufbau zugeordnet werden. Auch wenn der unzureichende Luftaustausch von 0,04 /h als wesentlicher Einflussparameter für die Geruchsintensität des Teppichbodenfehlgeruches anzusehen ist, wurde vor dem Hintergrund der Prüfkammerergebnisse (Dodecenisomere auch bei um den Faktor 10 erhöhten Luftwechsel in ähnlicher Konzentration nachweisbar) der Austausch des Teppichbodens empfohlen. Die empfohlene Sanierungsstrategie wurde vom Eigentümer des Gebäudes erfolgreich umgesetzt.

7.4.1.1.4 Fall 4: Geruchsbelästigung in einer Bürofläche nach Austausch des Bodenbelages

In einem Bürogebäude wurde ein neuer Teppichboden verlegt. Seitdem treten massive Beschwerden über „Teppichbodengerüche“ seitens der Beschäftigten auf. Die Untersuchungsstrategie (ca. 6 Wochen nach Verlegen des Teppichbodens) umfasste die

geruchssensorische Bestandsaufnahme und die Erfassung von VOC in der Raumluft und quellnahe Raumluftmessungen vom Bodenaufbau mittels statischen Messzellen. Die Untersuchungen wurden in zwei exemplarisch ausgewählten Büroräumen durchgeführt.

In den untersuchten Räumen war ein charakteristischer Teppichbodenneugeruch wahrnehmbar, welcher dem Bodenaufbau zugeordnet werden konnte. Die TVOC-Gehalte lagen im Gleichgewichtszustand zwischen ca. 200 und 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Richtwerte (RWI) wurden nicht überschritten. Die substanzspezifische Auswertung ergab signifikante Raumluftkonzentrationen von 4-Phenylcyclohexen zwischen ca. 14 und 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, welche über die quellnahe Probenahme dem Bodenaufbau zugeordnet werden konnte. Da 4-Phenylcyclohexen-Emissionen von neuen Teppichböden in der Regel absinken, wurde ein verstärktes Lüftungsverhalten bis zum Abklingen der Geruchsbelästigung empfohlen.

7.4.1.2 Linoleum

7.4.1.2.1 Fall 1: Geruchsbelästigung in einem Klassenraum nach einer Grundsanierung

In einem Klassenraum werden nach einer Grundsanierung durch die Lehrkräfte unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Der betroffene Klassenraum ist mit einem Linoleumbodenbelag ausgestattet. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme und die Erfassung von VOC (insbesondere Aldehyde) in der Raumluft.

Zum Untersuchungstermin war ein charakteristischer, süßlich-säuerlicher Störgeruch nach Linoleumbodenbelag feststellbar. Die Ergebnisse der VOC-Raumluftmessung zeigten auffällige Konzentrationen an Aldehyden (Überschreitung des RWI) und organischen Säuren (insb. Hexansäure). Das erhöhte Emissionspotential des Linoleumbodenbelages konnte auf den Einsatz eines falschen Reinigungsmittels und einer damit verbundenen starken Abnutzung der Versiegelungsschicht zurückgeführt werden. Durch eine neue Versiegelung des Linoleumbodenbelags konnte der Störgeruch beseitigt werden.

7.4.1.3 Kautschuk

7.4.1.3.1 Fall 1: Geruchsentwicklung beim Wischen eines Latexbodens

In einem Verwaltungsgebäude einer Hochschule werden seit der Umstellung des Reinigungszyklus durch die Beschäftigten unangenehme Gerüche, insbesondere nach den Reinigungsarbeiten (feuchtes Wischen), bemängelt. Die betroffene Etage ist flächig mit einem Latexboden ausgestattet, der zum Untersuchungszeitpunkt etwa 15 Jahre in Nutzung ist. Der Geruch wird von den Beschäftigten als kuhstallartig beschrieben. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme, die Erfassung von VOC in der Raumluft und quellnahe Raumluftmessungen vom Bodenaufbau mittels statischen Messzellen. Zusätzlich wurde das Emissionspotential der VOC des Bodenbelags und des Klebers mittels Headspace bestimmt. Die VOC-Untersuchungen wurden an drei exemplarisch ausgewählten Messpunkten jeweils im Gleichgewichtszustand und nach einem Reinigungszyklus durchgeführt.

Die Räume wiesen im Gleichgewichtszustand einen dumpf-stechenden Geruch in geringer Intensität auf. Nach dem Wischen des Bodenbelages war in den Räumen ein sehr intensiver chemisch-bittermandelölartiger Geruch wahrnehmbar. Der Störgeruch konnte geruchssensorisch dem Bodenaufbau zugeordnet werden. Die TVOC-Gehalte lagen zwischen ca. 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gleichgewichtszustand) und ca. 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (nach dem Wischen). Richtwerte (RWI) wurden nicht überschritten. Die substanzspezifische Auswertung der Raumluftproben und quellnahen Proben ergaben unter olfaktorischen Gesichtspunkten folgende Auffälligkeiten:

- ▶ Benzaldehyd (Geruchsschwelle: 18,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Grams et al. 2016):

- Raumlufte (Gleichgewichtszustand): ca. 4-7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Messzelle Bodenaufbau gesamt (trocken): ca. 25-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Raumlufte (nach Wischen): ca. 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Messzelle Bodenaufbau gesamt (feucht): ca. 500-800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Benzothiazol (Geruchsschwelle: 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Umweltbundesamt 2014):
- Raumlufte (Gleichgewichtszustand): ca. 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Messzelle Bodenaufbau gesamt (trocken): ca. 8-16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Raumlufte (nach Wischen): ca. 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Messzelle Bodenaufbau gesamt (feucht): ca. 27-51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Darüber hinaus konnten in einem Raum ein signifikantes Emissionspotential für n-Butansäure (Buttersäure), iso-Butansäure und n-Hexansäure nachgewiesen werden, welches ebenfalls im feuchten Zustand stark anstieg. Der Störgeruch konnte eindeutig auf den Bodenaufbau zurückgeführt werden und wurde durch Feuchtigkeit/Wasserdampf mobilisiert. Anhand der Materialproben (Headspace) war keine eindeutige Differenzierung der Emissionsquellen Bodenbelag/Kleber möglich. Als Ursache für die erhöhte Freisetzung von Benzaldehyd (und weiteren Aldehyden), Benzothiazol und organischen Säuren sind feuchteinduzierte Reaktionen im Bodenbelag und/oder Kleber zu vermuten. Der Feuchteintrag in den Bodenaufbau wird durch den stark abgenutzten Boden (keine Versiegelung vorhanden) begünstigt.

Aufgrund der erheblichen Geruchsemissionen wurde der Austausch bzw. die Erneuerung des Bodenbelages empfohlen.

7.4.1.3.2 Fall 2: Geruchsentwicklung in einer Schule nach Erneuerung des Bodenbelags

In einem Schulgebäude wurde ein neuer Kautschukbodenbelag auf den bestehenden Bodenbelag (PVC-Fliesen) verlegt. Die Arbeiten wurden in zwei Bauabschnitten in zwei Geschossen durchgeführt. Nach Verlegen des Kautschukbodenbelages im 1. Obergeschoss (2. Bauabschnitt) werden von den Nutzerinnen und Nutzern unangenehme Gerüche beanstandet. Der 1. Bauabschnitt (2. Obergeschoss) war geruchlich unauffällig. Die Untersuchungsstrategie umfasste die systematische geruchssensorische Bestandsaufnahme in allen betroffenen Räumen und weiteren Referenzräumen mit einem Prüferpanel (5 Personen) sowie Raumlufte-messungen auf VOC und quellnahe Messungen des Bodenaufbaus mittels statischen Messzellen.

Anhand der durchgeführten Geruchsprüfungen war in den bemängelten Räumen des 1. Obergeschosses eine signifikante Geruchsbelästigung feststellbar. Über die mittlere Bewertung der Akzeptanz konnte in den betroffenen Räumen eine zu erwartende Unzufriedenheit bei der Nutzung von ca. 50 – 90 % abgeleitet werden. Die geruchssensorische Bewertung der Raumluftequalität des Prüferpanels blieb auch unter Nutzungsbedingungen (Beurteilung eine Stunde nach definierter Lüftung) konstant. Über die quellnahe geruchssensorische Beurteilung mittels statischen Messzellen konnte der Störgeruch (staubig/kratzend/verbrannt) eindeutig dem Bodenaufbau zugeordnet werden. Weitere Einflussfaktoren wie Heizung (z.B. verbrannter Staub) und die Möblierung konnte durch eine Wiederholungsprüfung ein halbes Jahr später (außerhalb der Heizperiode, Möblierung entfernt) ausgeschlossen werden.

Die Raumlufte-messungen zeigten ein charakteristisches VOC-Spektrum für mit Kautschukböden ausgestattete Innenräume (Aldehyde, organische Säuren, Benzothiazol) und bestätigten den von den Geruchsprüfern (alle Räume inkl. der nicht bemängelten Räume) beschriebenen

charakteristischen „Kautschukbodengeruch“ in jeweils geringer Intensität. Über die statischen Messzellen konnten diese Verbindungen eindeutig dem Bodenaufbau zugordnet werden. Anhand der Raumluftmessungen war jedoch aus chemisch-analytischer Sicht keine Trennung zwischen den geruchsauffälligen Räumen (1. OG) und den nicht geruchsauffälligen Räumen (2.OG) möglich.

Aufgrund der geruchssensorisch nachgewiesenen Geruchsemissionen des Bodenaufbaus im 1. OG und der damit verbundenen Geruchsbelästigung wurde der Austausch des Bodenbelags empfohlen. Als Ursache der Freisetzung des staubig/kratzend/verbrannten Störgeruchs ist eine Reaktion des ursprünglichen PVC-Bodenbelags mit der neu eingebrachten Klebefolie und/oder des Kautschukbodens anzunehmen.

7.4.1.3.3 Fall 3: Geruchsentwicklung durch den Bodenbelag in einer Musikschule

In einer Musikschule werden seitens der Raumnutzer Beschwerden über unangenehme Gerüche sowie Befindlichkeitsstörungen geäußert. Die Untersuchungsstrategie umfasste die systematische geruchssensorische Bestandsaufnahme in allen betroffenen Räumen sowie Raumluftmessungen auf VOC und die Untersuchung von Materialproben (Headspace) sowie die Bestimmung des Luftwechsels.

Anhand der durchgeführten Untersuchungen konnte als Geruchsquelle unter anderem der Kautschukbodenbelag zugeordnet werden. Der Geruch war im Wesentlichen auf den Nachweis von Benzothiazol zurückzuführen. Der auftraggebenden Person wurde die Erneuerung des Bodenbelages und der Einbau einer Lüftungsanlage vorgeschlagen. Nach Austausch des Bodenbelags (ebenfalls Kautschukbodenbelag) und Einbau einer Lüftungsanlage wurden seitens der Raumnutzer weiterhin Beschwerden geäußert. Diese Beschwerden konnten ebenfalls chemisch-analytisch über den Nachweis von Benzothiazol plausibilisiert werden, auch wenn die Raumluftkonzentration deutlich abgenommen hatte.

7.4.1.4 PVC-Böden

7.4.1.4.1 Fall 1: CV-Bodenbelag in einem Einfamilienhaus

In einem Einfamilienhaus wurde im Dachgeschoss ein neuer CV-Bodenbelag verlegt (Flur, zwei Zimmer). Die Nutzenden beklagen nach dem Verlegen des Bodenbelags eine unzumutbare Geruchsbelästigung, welche auf den neuen Bodenbelag zurückzuführen sei. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme durch drei geschulte Prüfende, die Erfassung von VOC in der Raumluft (Messung im Gleichgewichtszustand und unter Nutzungsbedingungen) und quellnahe Raumluftmessungen vom Bodenaufbau mittels statischen Messzellen.

Anhand der geruchssensorischen Bestandsaufnahme (AGÖF-Geruchsleitfaden) konnte in der Raumluft ein signifikanter Störgeruch (süßlich/Kunststoff; chemisch/lösungsmittelartig/2-Ethylhexanolartig) festgestellt werden. Anhand der Akzeptanzbewertung ließ sich eine zu erwartende Nutzungsunzufriedenheit von ca. 95 % ableiten. Der Störgeruch konnte geruchssensorisch auf den Bodenaufbau (Bodenbelag inkl. Kleber) zurückgeführt werden. Die TVOC-Gehalte lagen im Gleichgewichtszustand zwischen 170 und 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und unter Nutzungsbedingungen bei ca. 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Richtwerte (RWI) wurden nicht überschritten. Die substanzspezifische Auswertung des der Raumluftproben und quellnahen Proben ergaben unter olfaktorischen Gesichtspunkten folgende Auffälligkeiten:

- ▶ 2-Ethylhexanol (Geruchsschwelle: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Stolz et al. 2016):
 - Raumluft: ca. 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- Messzellen Bodenaufbau gesamt: ca. 420 µg/m³
 - Messzellen Bodenaufbau nach Entfernung des Bodenbelags inkl. Kleber: ca. 50 µg/m³
- Höhere Iso-Alkanole (C₁₀-C₁₂)
- Raumluft: ca. 200 µg/m³ (Identifizierung mittels Bibliotheksrecherche; Semiquantifizierung in Toluoläquivalenten)
 - Messzellen Bodenaufbau gesamt: ca. 900 µg/m³
 - Messzellen Bodenaufbau nach Entfernung des Bodenbelags inkl. Kleber: ca. 200 µg/m³

Die chemisch-analytischen Ergebnisse bestätigen die geruchssensorischen Erkenntnisse, dass der in der Raumluft vorherrschende Störgeruch auf den neuverlegten CV-Bodenbelag inkl. Kleber zurückzuführen ist. Ursächlich sind dabei signifikante Emissionen von 2-Ethylhexanol und weiteren Iso-Alkanolen (C₁₀-C₁₂). Die Emissionen der geruchsaktiven Alkohole sind auf die im CV-Bodenbelag (oder Kleber) enthaltenen Weichmacher zurückzuführen. Als Ursache für das erhöhte Emissionspotential der Alkohole kommen eine Verunreinigung der Ausgangsprodukte der Weichmacher oder eine hydrolytische Spaltung der Weichmacher in Betracht. Aufgrund der erheblichen Geruchsemissionen wurde der Austausch bzw. die Erneuerung des Bodenbelages Bodenbelages empfohlen.

7.4.1.4.2 Fall 2: Vinylboden in einer Arztpraxis

In einer Arztpraxis werden nach Einbringen eines Vinylbodenbelages seitens der Raumnutzer unangenehme Gerüche geäußert. Die Geruchsintensität ging im Laufe der Zeit nicht zurück. Die Untersuchungsstrategie umfasste die systematische, geruchssensorische Bestandsaufnahme in allen betroffenen Räumen sowie Raumluftmessungen auf VOC und quellennahe Luftmessungen des Bodenaufbaus mittels einer FLEC (transportablen Emissionsprüfzellen nach EN ISO 16000-10).

Die Raumluftmessungen zeigten erhöhte Konzentrationen von 2-Ethylhexanol, n-Nonanol, Isononanol und Isodecanolen und plausibilisierten den bemängelten Störgeruch. Über die quellnahen Luftmessungen des Bodenaufbaus, konnten diese geruchsaktiven Substanzen dem Bodenaufbau bzw. dem Vinylboden zugeordnet werden. Die nachgewiesenen Alkohole sind als Abbauprodukte der im Vinylboden enthaltenen Weichmacher anzusehen. Ein Einfluss des in der Arztpraxis zur Bodenreinigung eingesetzten Desinfektionsmittels auf den Abbauprozess der Weichmacher konnte nicht ausgeschlossen werden. Der auftraggebenden Person wurde der Austausch des Bodenbelages empfohlen.

7.4.1.5 Parkett/Parkettbeschichtungen

7.4.1.5.1 Fall 1: Geruchsbelästigung durch Parkettkleber

Nach Erstbezug einer Wohnung in einem Mehrfamilienhaus werden unerträgliche Gerüche seitens der Eigentümer bemängelt. In einer ersten Untersuchung wurde eine erhöhte Raumluftkonzentration an 2-Ethylhexanol nachgewiesen. Die weitere Untersuchungsstrategie umfasste die Schichtenweise Bestimmung des Emissionspotentials des Bodenaufbaus (auf Estrich verklebter Stäbchenparkettboden) mittels Thermodesorption.

Als Emissionsquelle konnte eindeutig der Parkettkleber festgestellt werden. Aufgrund des gleichzeitigen Nachweises des Weichmachers Bis(2-Ethylhexyl)adipat ist als Ursache eine Hydrolysereaktion des Klebers im feucht-alkalischen Milieu eines noch nicht ausreichend abgetrockneten Estrichs anzunehmen. Die Reaktionsbedingungen wurden durch eine zu

schnelle Versiegelung des Parkettbodens vor dem vollständigen Abtrocknen des Klebers erheblich begünstigt. Die Analyse des weiteren Bodenaufbaus zeigte das Eindringen von 2-Ethylhexanol sowohl in den darüber liegenden Parkettboden als auch bis zur Unterseite des Estrichs. Zur Sanierung musste der gesamte Bodenaufbau inkl. Estrichdämmschicht entfernt werden.

7.4.1.5.2 Fall 2: Geruchsbelästigung nach Versiegelung eines Parkettbodens

In den Wohnräumen einer Mietswohnung werden nach der Versiegelung eines Parkettbodens unangenehme Gerüche sowie Befindlichkeitsstörungen seitens der Mieter bemängelt. Zum Ortstermin konnte der Störgeruch geruchssensorisch auf die Bodenoberfläche zurückgeführt werden. Die entnommene Raumlufprobe auf VOC zeigte erhöhte Konzentrationen von Aldehyden (ca. 250 µg/m³, insbes. Pentanal, Hexanal) und bestätigte damit den geruchssensorischen Eindruck zum Ortstermin. Über die Angaben des Datenblattes des zur Versiegelung eingesetzten PU-verstärkten Alkydharz-Spezial-Klarlacks konnten die erhöhten VOC-Gehalte der Raumluf eindeutig dem Emissionsprofil der Versiegelung zugeordnet werden. Als Ursache für das hohe Emissionspotential der Versiegelung ist eine falsche Anwendung zu vermuten. Der auftraggebenden Person wurde ein Abschleifen der Versiegelung empfohlen.

7.4.1.5.3 Fall 3: Geruchsbelästigung nach Hartwachsölbehandlung

In einem Einfamilienhaus werden nach dem Einlassen des Parkettbodens mit Hartwachsöl seitens der Nutzenden unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Zum Untersuchungstermin war ein chemischer-anhaftender Störgeruch wahrnehmbar, der geruchssensorisch dem Parkettboden zugeordnet werden konnte. Die durchgeführten Raumlufmessungen zeigten aus olfaktorischer Sicht erhöhte Raumlufkonzentrationen von höheren Aldehyden (Summe C₄-C₁₄ ca. 100 µg/m³) und iso- und n-Butylacetat (Summe ca. 70 µg/m³). Als Ursache sind Abbaureaktionen des Hartwachsöls oder Reaktionen mit dem Parkettboden bzw. den alten Einlassölen zu vermuten. Den Nutzenden wurde ein Abschleifen des Parkettbodens empfohlen.

7.4.1.6 Unterboden/Altbelag

7.4.1.6.1 Fall 1: Geruchsbeschwerden in Büroräumen

In den Büroräumen eines Verkehrsbetriebes werden seitens der Beschäftigten unangenehme Gerüche bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasste eine systematische, geruchssensorische Bestandsaufnahme inkl. Prüfung von Geruchseinträgen bei Unterdruckhaltung und die olfaktorische Bewertung von auffälligen Baumaterialien.

Die betroffenen Büros waren mit einem Nadelfilzboden ausgestattet. Beim Betreten der betroffenen Büros war ein Mischgeruch aus Nadelfilzbodengeruch, Linoleumbodengeruch sowie einem Störgeruch (säuerlich/dumpf/beißend) wahrnehmbar. Der Störgeruch lag in einer geringen bis mittleren Intensität vor.

Ein angrenzender Besprechungsraum ohne wahrnehmbare Störgerüche, war mit einem Linoleumbelag ausgestattet. Aus dem Übergang zwischen diesen beiden Räumen war ersichtlich, dass in den Räumen mit Nadelfilzboden noch der ursprüngliche Linoleumbelag vorhanden war. Daraufhin wurde der Bodenaufbau in einem Büro exemplarisch geöffnet, geruchssensorisch geprüft und es wurden Materialproben entnommen. Die Kleberschicht zwischen Teppichboden und Linoleum wies dabei den bestimmenden Störgeruch der Büroräume auf. Dieser Geruchseindruck konnte auch nach dem Ortstermin unter kontrollierten Bedingungen im Labor bestätigt werden (Einbringen der Materialproben in Prüfgefäße und geruchssensorische Bewertung nach dem Aufheizen auf 45°C). Aufgrund der geruchssensorischen Feststellungen ist

anzunehmen, dass in den Grenzschichten Teppichboden-Kleber und Kleber-Linoleum die Geruchsstoffe durch chemische Abbaureaktionen freigesetzt werden. Diese Abbaureaktionen können durch Produktalterung insbesondere des Linoleumbelags und/oder die nicht verträgliche Materialkombination (Verkleben von zwei unterschiedlichen Bodenbelägen) hervorgerufen bzw. begünstigt werden. Da weitere Geruchseinträge vor Ort ausgeschlossen werden konnten, wurde der auftraggebenden Person der Austausch des Bodenbelages inkl. der Altbeläge empfohlen.

7.4.1.6.2 Fall 2: Geruchsbeschwerden in Büroräumen

In einem Bürogebäude eines Glasverarbeitungsbetriebs werden in zwei Räumen unangenehme Gerüche bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme, die Erfassung von VOC in der Raumluft und quellnahe Raumluftmessungen vom Bodenaufbau mittels statischen Messzellen und die Bestimmung des Luftwechsels. Die Untersuchungen wurden in zwei exemplarisch ausgewählten Büroräumen sowie einem beschwerdefreien Referenzraum durchgeführt.

Zum Ortstermin konnte in den Beschwerderäumen neben einem typischen süßlich-säuerlichen Nadelfilzbodengeruch zusätzlich ein charakteristischer chemisch-muffiger Geruch nach alten PVC/CV-Bodenbelägen wahrgenommen und geruchssensorisch dem Bodenaufbau zugeordnet werden. Eine Bauteilöffnung zeigte unterhalb des Nadelfilzboden einen CV-Bodenbelag. Die geruchssensorischen Erkenntnisse konnten mit Hilfe der Raumluftmessungen und den Emissionsmessungen des Bodenaufbaus bestätigt werden. Insbesondere in den Bodenmesszellen waren auffällige Konzentrationen von Phenolen und Kresolen nachweisbar. Als Ursache sind Alterungsreaktionen des CV-Bodenbelages oder eine Reaktion in der Grenzschicht Nadelfilzboden-Kleber-CV-Bodenbelag zu vermuten. Der auftraggebenden Person wurde der Austausch des Bodenbelages inkl. Entfernung des CV-Bodenbelages empfohlen.

7.4.2 Türen

7.4.2.1 Fall 1: Unangenehme Gerüche nach Streichen von Türstöcken

In einem Einfamilienhaus wurden nach einem Brandschaden umfangreiche Sanierungsarbeiten durchgeführt (u.a. Erneuerung des Bodenaufbaus, Streichen von Wänden, Decken, Türen und Türstöcken). Nach Durchführung der Sanierungsarbeiten werden seitens der Eigentümer unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasste neben der geruchssensorischen Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen auf VOC und Materialuntersuchungen von olfaktorisch auffälligen Materialien mittels Thermodesorption.

Zum Untersuchungstermin konnte vor allem in den Fluren ein süßlich-säuerlicher Störgeruch mittlerer Intensität wahrgenommen werden. Der Störgeruch war in den angrenzenden Wohnräumen in geringer Intensität wahrnehmbar und wurde von nutzungstypischen Gerüchen (frische Wäsche, Möblierung, etc.) überlagert. Die Raumluftmessungen zeigten signifikante Konzentrationen an gesättigten azyklischen Aldehyden (knapp Unterschreitung des Vorsorgewertes RWI) und organischen Säuren (insb. Hexansäure). Die Ergebnisse der Materialuntersuchung der Lackoberflächen der Türen und Türstöcke zeigte ein hohes Emissionspotential für Aldehyde und organische Säuren.

Zusammenfassend konnte der süßlich-säuerliche Störgeruch der Lackierung der Türen und Türstöcke zugeordnet werden. Die chemisch-analytischen Ergebnisse korrelieren dabei mit der geruchssensorischen Erkenntnis, dass der Störgeruch aufgrund der signifikant größeren Emissionsfläche verstärkt im Flurbereich auftritt. Als Ursache sind eine Reaktion der alten und neuen Lackschicht aufgrund von Unverträglichkeiten und/oder eine Fehlcharge des

eingesetzten Lackes anzunehmen. Den Eigentümern wurde das Abschleifen des Lackes empfohlen.

7.4.3 Wände/Decken

7.4.3.1 Wandfarben

Heute verwendete Dispersionswandfarben sind in der Regel emissionsarm und lösungsmittelfrei. Der Eigengeruch ist bei dieser Produktgruppe eher unauffällig.

Die Erwartungshaltung bezüglich des Geruchs an eine Wandfarbe ist: Während des Streichens und unmittelbar im Anschluss darf/soll es frisch gestrichen riechen, nach wenigen Tagen sollte bereits ein deutlicher Rückgang des Geruchs im Raum vorliegen, und nach ein bis vier Wochen sollte es einem Raum nicht mehr „anzuriechen“ sein, dass er frisch gestrichen wurde.

Das Abklingen eines Geruchs kann bei anderen Produktgruppen deutlich länger andauern. Bodenbeläge oder Möbel beispielsweise sind häufig geruchlich sehr viel länger bzw. auch dauerhaft wahrnehmbar.

Für Geruchsbeschwerden im Zusammenhang mit der Anwendung von Wandfarben können unterschiedliche Beschwerdesituationen differenziert werden:

- ▶ Das Produkt selbst, seine Zusammensetzung, Herstellung und Lagerung sind aus unserer Erfahrung aufgrund der Produktionsbedingungen und Kontrollen eher selten verantwortlich für die Entstehung unangenehmer Gerüche.
- ▶ In der Regel ist der Geruch der Farbe im Gebinde unauffällig. Eine „verdorbene“ Wandfarbe würde vermutlich bereits bei der Anwendung zu Reklamationen führen.
- ▶ Der unangenehme Geruch bildet sich meist erst nach der Anwendung an der Wand aus.
- ▶ Er kann direkt nach dem Streichen oder erst im Laufe von Wochen und Monaten entstehen.
- ▶ Es ist möglich, dass nur ein Raum von mehreren Räumen, in denen gestrichen wurde, betroffen ist. Es können aber auch mehrere Räume sein. Es ist auch möglich, dass nur eine Wand mit einem bestimmten Farbton riecht und andere Farbtöne nicht.

Im Zusammenhang mit Geruchsbeschwerden bei Wandfarben können verschiedene, typische Entstehungstypen differenziert werden:

- ▶ Geruchsbildung zum Zeitpunkt der Anwendung
 - Abhängig von der Situation vor Ort (Untergrund/ Gegebenheiten zum Zeitpunkt der Verwendung), z.B.: Vorarbeiten, wie das Entfernen von diffusionshemmenden Sperrschichten, wie Vinyltapeten oder Latexanstriche, vorbelastete Untergründe, Produktwechselwirkungen, Anwendungsmengen, Bedingungen bei der Trocknung: Temperatur, Luftwechsel, Feuchte
 - Wasser als Lösungsmittel kann bei der Trocknung Geruchsstoffe in den Raum befördern.
 - Es können Wechselwirkungen mit Stoffen aus dem Untergrund und aus der Raumluft in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen stattfinden. Eine verlängerte Trocknung ermöglicht eine entsprechend verlängerte Reaktionsphase.
- ▶ Geruchsbildung deutlich nach dem Zeitpunkt der Anwendung

- In diesen Fällen wird oftmals beschrieben, dass die Geruchsbildung im Zusammenhang mit Sonne, Wärme, höherer Luftfeuchtigkeit und dem Öffnen der Fenster ausgelöst oder verstärkt wird.
- In der Raumluft sowie an Oberflächen finden diverse Reaktionsprozesse (wie z.B. Oxidation, Hydrolyse) statt. Licht bzw. UV-Strahlung sowie Ozon und Feuchte spielen dabei eine große Rolle. Unter bestimmten Bedingungen und dem Vorhandensein entsprechender Vorprodukte können Geruchsstoffe gebildet werden, die bereits in sehr geringen Konzentrationen geruchlich wahrnehmbar sind.
- Die Geruchsbildung ist in diesen Fällen ein Zusammentreffen von Einzelfaktoren, die in dieser Beschwerdesituation zusammentreffen. In der Regel klingt die Bildung geruchsaktiver Verbindungen nach ca. 6 Monaten wieder ab.

Bei den analytisch messbaren Verbindungen und vermutlich geruchsbildenden Stoffen im Zusammenhang mit Geruchsbeschwerdefällen nach der Anwendung von Dispersionswandfarben handelt es sich häufig um gesättigte und ungesättigte Aldehyde und Ketone, Alkohole und Carbonsäuren, Verbindungen mit sehr niedrigen Geruchsschwellenwerten, die bereits unterhalb einer gesundheitsschädlichen Konzentrationshöhe geruchlich auffallen.

7.4.3.1.1 Fall 1: Kräuterartiger Geruch beim Öffnen der Fenster nach der Aufbringung einer neuen Wandfarbe

In einem Einfamilienhaus werden nach dem Streichen der Wände des Schlafzimmers seitens der Eigentümer unangenehme Gerüche bemängelt. Der Geruch verstärkt sich nach Aussage der Eigentümer beim Lüften. Die Untersuchungsstrategie umfasste neben der geruchssensorischen Bestandsaufnahme und Quellensuche Raumluftmessungen bei geöffnetem und geschlossenem Fenster, quellnahe Luftuntersuchungen an den gestrichenen Wandoberflächen. Darüber hinaus wurden Materialproben entnommen und das Emissionspotential mittels Thermodesorption untersucht. Dabei wurde auch der mögliche Einfluss von Ozon über die offenen Fenster simuliert.

Die geruchssensorische Bestandsaufnahme ergab einen kräuterartig-ranzigen Störgeruch mittlerer Intensität, der erst einige Minuten nach Öffnen des Fensters auftrat. Der Störgeruch konnte einigen der Wandoberflächen zugeordnet werden. Die Ergebnisse der Raumluftmessungen ergaben signifikante Konzentrationen an höheren Aldehyden (vor allem Nonanal, Decanal und Undecanal). Über die quellnahen Raumluftmessungen konnten die geruchssensorisch auffälligen Wandoberflächen als Emissionsquelle zugeordnet werden.

Die Materialuntersuchungen zeigten für die geruchsauffälligen Wandoberflächen ein deutliches Emissionspotential der höheren Aldehyde, welches unter Ozoneinfluss erheblich verstärkt werden konnte. Andere Wandoberflächen (nicht geruchsauffällig) wiesen diesen Effekt in deutlich geringerem Ausmaß auf. Aufgrund dieser Feststellungen ist entweder eine ozoninduzierte Reaktion der neu eingebrachten Farbe mit dem Altuntergrund oder eine ozoninduzierte Reaktion von Reaktionsprodukten zwischen der neu eingebrachten Farbe mit dem Altuntergrund abzuleiten. Der auftraggebenden Person wurde die Entfernung aller Farbschichten empfohlen.

7.4.4 Akustikdecken

7.4.4.1 Sekundäremissionen aufgrund der großen inneren Oberfläche

Akustisch wirksame Oberflächen benötigen eine große Oberfläche zur Absorption der Schallwellen. In der Raumluft vorhandene Geruchsstoffe können sich damit an der großen inneren Oberfläche stark anreichern. Die Geruchssubstanzen werden anschließend verzögert an die Raumluft abgegeben. Dies kann insbesondere nach Renovierungen bedeutsam sein, wenn innerhalb der Abtrocknungszeit der eingebrachten Baustoffe (z.B. Lacken, Farben und Kleber) erhöhte Raumluftkonzentrationen auftreten. Darüber hinaus können auch Emissionen aufgrund der Nutzung oder ehemaligen Nutzung verzögert abgegeben werden (z.B. Tabakrauch).

Bei der geruchssensorischen oder chemischen Analyse von Geruchsquellen, kann die starke Anreicherung an der Oberfläche der Akustikdecken zu einer Fehleinschätzung bezüglich der eigentlichen Primärquelle führen.

7.4.4.2 Fall 1: Geruchsbeschwerden nach Anbringen neuer Akustikdecken

In einem Klassenraum einer Schule werden nach dem Anbringen neuer Akustikdecken unangenehme Gerüche bemängelt. Zur Klärung der Ursache der bemängelten Gerüche wurde eine Prüfkammeruntersuchung eines Akustikpaneels nach AgBB-Schema inkl. Geruchsprüfung durchgeführt. Bei einer raumtypischen Beladung wurde nach 28 Tagen in der Prüfkammer ein TVOC-Wert von $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Die Geruchsprüfung ergab eine geringe Intensität (6,4 pi) bei einer negativen Hedonik (-1,6). Der Geruchseindruck wurde von den Probanden überwiegend als unangenehm und nicht akzeptabel bewertet. Chemisch-analytisch war der Geruch im Wesentlichen durch den Nachweis von Triacetin (ca. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nach 28 Tagen) erklärbar. Triacetin wird unter anderem als Weichmacher und Lebensmittelzusatzstoff eingesetzt.

7.5 Fallgruppe 3 – Bauteile

7.5.1 Boden

7.5.1.1 Abdichtung und Kleber

7.5.1.1.1 Fall 1: Muffiger Geruch in einem Schulgebäude

In einem Schulgebäude (Baujahr ca. 1960) klagen die Nutzenden seit längerem über unangenehme schimmelartige Gerüche. Mehrere Raumluftuntersuchungen auf Schimmelpilze blieben ohne Befund. Die Untersuchungsstrategie umfasst eine systematische geruchssensorische Bestandsaufnahme mit Kategorisierung unterschiedlicher muffiger Geruchseindrücke.

Dabei konnte geruchssensorisch der Kleber der PVC-Fliesen als Quelle eines phenolisch-muffigen Geruchseindrucks festgestellt werden. Die geruchssensorischen Ergebnisse wurden über eine Raumluftmessung und eine Materialuntersuchung des Klebers mittels Thermoextraktion auf PAK und Phenole plausibilisiert. Der Kleber zeigte ein erhebliches Emissionspotential von Kresolen, Dimethylphenolen und Ethylphenolen. Diese Substanzen waren in der Raumluft in Spuren nachweisbar. Geruchsschwellen für diese Verbindungen liegen gemäß einer Literaturrecherche zum Teil deutlich unterhalb $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Der auftraggebenden Person wurde der Austausch des Bodenbelags inklusive Kleber empfohlen.

7.5.1.1.2 Fall 2: Lösungsmittelartiger Geruch in einem Schulgebäude

Im Untergeschoss einer Schule wurde der Auftrag einer horizontalen Feuchtesperre auf der Bodenplatte und die Wiederherstellung der Fußbodenkonstruktion (Dämmung, Estrich, Bodenbelag) beauftragt. Vor Einbringen der Feuchtesperre (Elastomerbitumen-Schweißbahn) wurde ein bituminöser Voranstrich auf die Bodenplatte aufgetragen. Nach Auftrag des Voranstrichs treten im gesamten Gebäude unangenehme Gerüche auf. Im Rahmen einer ersten Gefährdungsbeurteilung werden Alkylbenzolkonzentrationen (C₉-C₁₅) von bis zu 5000 µg/m³ ermittelt (RW II = 1000 µg/m³). Daraufhin wurde der Schulbetrieb bis zur Einrichtung von Sofortmaßnahmen (Absaugung und Unterdruckhaltung im Untergeschoss) ausgesetzt.

Im weiteren Verlauf wurden Untersuchungen zum Nachweis der Emissionsquelle, der Bestimmung des Schadensausmaßes, die Überwachung der Emissionen außerhalb des Sanierungsbereichs und die Erfolgskontrolle nach Sanierung des Schadensbereichs durchgeführt. Die Untersuchungsstrategie umfasste dabei den Einsatz eines Photoionisationsdetektors (PID; hohe Anzahl an Messpunkten möglich) in Kombination mit Raumluftmessungen (Tenax; Abgleich der PID-Ergebnisse; Bestimmung der Substanzzusammensetzung). Darüber hinaus wurden quellnahe Messungen mittels statischen Messzellen durchgeführt sowie der VOC-Gehalt von entnommenen Materialproben bestimmt.

Als wesentliche Ursache der erhöhten Alkylbenzolkonzentrationen konnte der vertragswidrige Einsatz eines lösungsmittelbasierten Voranstrichs ermittelt werden. Das Abtrocknen des Voranstrichs wurde darüber hinaus durch die zu schnell eingebrachte Elastomerbitumen-Schweißbahn erheblich verzögert. Aufgrund des großen Umfangs des eingesetzten Voranstrichs (gesamte Etage) verteilten sich die Emissionen im gesamten Gebäude. Nach Rückbau der Feuchtesperre und des Voranstrichs konnte messtechnisch ein Rückgang der Alkylbenzolkonzentrationen auf eine Hintergrundkonzentration festgestellt werden.

7.5.1.1.3 Fall 3: Styrolemissionen nach einer Balkonsanierung

Nach der Sanierung des Balkons einer Wohnung in einem Mehrfamilienhaus werden seitens der Nutzenden erhebliche Geruchsbelästigungen und Gesundheitsbeschwerden bemängelt. Die Sanierung des Balkons umfasste unter anderem die flächige Ausbringung eines Flüssigkunststoffs. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen auf VOC und Materialuntersuchungen des Flüssigkunststoffs mittels Headspace.

Zum Untersuchungstermin war ein intensiver chemisch-süßlicher Störgeruch im an den Balkon angrenzenden Raum festgestellt wahrnehmbar, der geruchssensorisch dem Bodenaufbau zugeordnet werden konnte. Die Ergebnisse der Raumluftuntersuchungen im Gleichgewichtszustand zeigten eine erhebliche Belastung mit Styrol (1500 µg/m³). Darüber hinaus war n-Butylacetat mit 500 µg/m³ nachweisbar. Über die Materialuntersuchung konnte der Flüssigkunststoff als Emissionsquelle für Styrol zugeordnet werden. Als Ursache für den Störgeruch konnte über Undichtigkeiten im Terrassentüranschluss eingedrungener Flüssigkunststoff ermittelt werden. Den Eigentümern wurde der Ausbau des Estrichs und der Estrichdämmschicht sowie die Abdichtung des Terrassentüranschlusses empfohlen.

7.5.1.1.4 Fall 4: Lösungsmittelgerüche in einem Neubau

In einem neu erstellten Einfamilienhaus werden nach Bezug der Eigentümer im Gäste-WC unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasste eine geruchssensorische Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen im Gäste-WC und angrenzenden geruchssensorisch unauffälligen Vergleichsräumen sowie die Analyse von Materialproben mittels Headspace.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen lag im Gäste-WC ein intensiver aromatisch-chemischer Störgeruch vor, der anhand der Raumluftmessungen auf aromatische Verbindungen (Summe ca. 2000 µg/m³; insbesondere Trimethylbenzole und Ethylbenzole) zurückgeführt werden konnte. In den angrenzenden Räumen lagen um den Faktor 4-5 niedrigere Raumluftkonzentrationen vor. Der Störgeruch konnte geruchssensorisch auf den Bodenaufbau zurückgeführt werden. Die Materialuntersuchungen der Bitumenschicht unterhalb des Estrichs zeigte mit Ausnahme des WCs in allen Räumen ein vergleichbares Emissionspotential an aromatischen Verbindungen. Die Bitumenschicht im WC wies ein erheblich höheres Emissionspotential an aromatischen Verbindungen auf.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen konnte als Quelle für die erhöhten Raumluftkonzentrationen an aromatischen Verbindungen der Bodenaufbau im WC zugeordnet werden. Die Ausbreitung in die angrenzenden Räume erfolgte über Wanddurchbrüche der Gebäudeinstallation (Kabel, Rohre, etc.). Aufgrund des stark erhöhten Emissionspotentials an aromatischen Verbindungen in der Bitumenschicht im Bodenaufbau des WCs ist davon auszugehen, dass während der Bauphase ein aromatenhaltiges Reinigungsmittel auf der Bodenplatte verschüttet und nicht ausreichend entfernt wurde. Den Eigentümern wurde der Rückbau des Bodenaufbaus bis auf die Bodenplatte empfohlen.

7.5.1.2 Dämmung

7.5.1.2.1 Fall 1: Geruchsbildung durch Polystyrolämmplatten im Fußbodenaufbau

Nach einer Fertigstellung einer Wohnung werden seitens der Nutzenden unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasste eine geruchssensorische Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen, quellnahe Raumluftmessungen sowie Materialuntersuchungen (Headspace). Zum Zeitpunkt der Untersuchungen lag in den Wohnräumen ein chemisch-süßlich, leicht bittermandelartig, dumpf, leicht stechender Geruch vor.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen konnten mehrere Geruchsquellen identifiziert werden. Während der Wandaufbau (Tapete mit Wandfarbe) unter anderem organische Säuren, Phenol und Aldehyde emittierte, konnte als Styrolquelle (Raumluft ca. 18 µg/m³) über quellnahe Raumluftmessungen der Bodenaufbau bzw. die enthaltenen Polystyrolämmplatten zugeordnet werden (stark erhöhte Raumluftkonzentrationen an den Randfugen). Auch wenn die Styrolraumluftkonzentration aus toxikologischer Sicht als weitestgehend unbedenklich zu bewerten ist, ist wahrscheinlich ein Einfluss auf die geruchssensorisch wahrgenommene Raumluftqualität gegeben. Bezüglich der Styrolproblematik wurde der auftraggebenden Person ein luftdichtes Abdichten der Randfugen des Bodenaufbaus empfohlen.

7.5.2 Decke/Wände

7.5.2.1 Fertighäuser

7.5.2.1.1 Fall 1: Fertighausgeruch nach einer Sanierung

In einem Fertighaus (Baujahr 1970) wurden aufgrund von Geruchsentwicklungen umfangreiche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt:

- ▶ Außenwände: Entfernung der Außenwandbeplankung; Austausch der Dämmung, Auftragen eines Sperrlackes und Auskleidung der Ständerkonstruktion mit einer mit Schafswolle beschichteten Dampfbremse; Beplankung der Innenseite;

- ▶ Innenwände: Austausch der Beplankung von einer Seite; Auskleidung der Ständerkonstruktion mit einer mit Schafswolle beschichteten Dampfsperre; Beplankung der anderen Wandseite;
- ▶ Decke: Unterkonstruktion unter die bestehende Decke aus mit Schafswolle beschichteter Dampfsperre, Holzwole und Verkleidung.

Kurze Zeit nach Durchführung der Sanierungsmaßnahmen treten erneut massive Geruchsbelästigungen in allen Räumen des Fertighauses auf. Ziel der durchgeführten Untersuchungen ist die Beurteilung der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen und die Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes. Die Untersuchungsstrategie umfasst die Erfassung der fertighaustypischen Geruchsstoffe (Chloranisole, Chlornaphthaline) in der Raumluft und in den Bauteilhohlräumen der Wände und Decken. Nach Eingrenzung der Emissionsquellen wurden exemplarische Bauteilöffnungen durchgeführt und die Einzelmaterialien der Wand- und Deckenaufbauten geruchssensorisch nach VDA 270 bewertet. Zur Differenzierung von Primär- und Sekundärquellen wurden die entnommenen Materialproben über 4 Wochen definiert belüftet und anschließend erneut olfaktorisch bewertet.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen lag ein charakteristischer, fertighaustypischer, muffig-süßlicher Geruch mit einer sehr hohen Intensität vor. Die Ergebnisse der Raumluftmessungen ergaben für 2,4,6-Trichloranisole eine Überschreitung der Geruchsschwelle um den Faktor 5-20 und für 2,3,4,6-Tetrachloranisole eine Überschreitung der Geruchsschwelle um den Faktor 2-30. Die Summe der nachgewiesenen Chlornaphthalinkonzentrationen lag zwischen 3-5 µg/m³ und überschreitet den Erfahrungswert einer signifikanten Geruchsbelästigung deutlich. Anhand der Raumluftproben konnte der Deckenaufbau und Teile der Außenwände (Ostseite) als Emissionsquelle für Chloranisole zugeordnet werden. Emissionsquelle der Chlornaphthaline waren die Innenwände und Außenwände.

Die geruchssensorische Prüfung der Einzelmaterialien ergab folgende Ergebnisse:

- ▶ Außenwände: Die verbliebene Bestandsspanplatte auf der Innenseite sowie die Holzständerkonstruktion sind als Primärquelle für die Chloranisole und Chlornaphthaline anzusehen. Die im Zuge der Sanierung eingebrachten Materialien sind erheblich sekundär kontaminiert und können nur bedingt abgelüftet werden.
- ▶ Innenwände: Im Innenwandaufbau konnten als wesentliche Primärquelle für die Geruchsemissionen (Chlornaphthaline) die Holzständerkonstruktion sowie die Bestandsspanplatte, der nicht geöffneten Wandseite, ermittelt werden.
- ▶ Decke: Als wesentliche Primärquelle für die Geruchsemissionen (Chloranisole) konnte die Bestandsspanplatte hinter der Deckenkonstruktion ermittelt werden. Die Materialien der neu eingebrachten Deckenkonstruktion sind erheblich sekundär kontaminiert und können nicht abgelüftet werden.

Als Ursache für die wieder aufgetretenen Geruchsentwicklungen nach der Sanierung ist die unzureichende Minderungswirkung der eingebrachten Dampfbremse (mit Schafswolle beschichtet) anzusehen. Darüber hinaus zeigte die Beplankung auf Primärquellen (Innenseite Außenwand, eine Wandseite der Innenwände) eine unzureichende Absperrwirkung gegenüber Chloranisolen und Chlornaphthalinen. Die Empfehlungen zur Sanierung umfassten den Rückbau der inneren Wandoberflächen inkl. Entfernung aller Bestandsspanplatten sowie den Einbau einer Lüftungsanlage, welche den Deckenhohlraum und die Innenwandhohlräume absaugt, um einen Eintrag in die Innenraumluft zu unterbinden.

7.5.2.1.2 Fall 2: Fertighausgeruch

In einem Fertighaus (Baujahr 1972) werden seitens der Nutzenden unangenehme Gerüche bemängelt. In einem ersten Untersuchungsschritt wurde an zwei Messpunkten die Raumluftkonzentrationen von Formaldehyd, Holzschutzmittel (Lindan, PCP, TCP) und Chloranisole bestimmt. Die Ergebnisse sind wie folgt zusammenzufassen:

- ▶ auffällige Raumluftkonzentration von Formaldehyd (ca. 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und Lindan (ca. 150 ng/m^3).
- ▶ deutliche Überschreitung der Geruchsschwellenwerte (ca. Faktor 2-4) für Tri- und Tetrachloranisole. Vor Ort konnte ein sehr intensiver charakteristischer muffig-süßlicher Geruch wahrgenommen werden.

Zur Erarbeitung einer Sanierungsstrategie wurden quellnahe Raumluftmessungen der Außen- und Innenwandhöhlräume sowie Luftwechsellmessungen durchgeführt:

- ▶ Als Quelle für die Chloranisole konnte insbesondere die ost- und westseitigen Außenwände identifiziert werden (Hohlraumkonzentrationen um den Faktor 10 bis 100 oberhalb der Raumluftkonzentration).
- ▶ Für Formaldehyd konnten die Beplankung der Innenwände als eindeutige Primärquelle zugeordnet werden.

Der auftraggebenden Person wurden daraufhin zwei Sanierungsstrategien vorgeschlagen:

- ▶ Reduzierung der Stofflasten im Gebäude durch Einbau einer Lüftungsanlage mit dem Ziel eine Raumluftkonzentration unterhalb von 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Formaldehyd und 100 ng/m^3 für Lindan zu erreichen (Luftwechsel ca. 1,0 /h). Die Abluftführung soll dabei auch über die Zwischenwände und den Deckenbereich erfolgen, um über den Unterdruck Emissionen in die Raumluft zu minimieren. Restemissionen der Chloranisole bzw. der verbleibende Geruch werden dabei toleriert.
- ▶ Vollständige Geruchssanierung durch Austausch (Beplankung der Innenwände; äußere Beplankung der Außenwände) bzw. Abdichtung (Außenwände mit diffusionsdichter Folie und vorgesezte Installationsebene) relevanter Primärquelle. Verbleibende Sekundäremissionen werden über eine Lüftungsanlage (inkl. Absaugung von Zwischenwänden und Deckenbereich) minimiert (Luftwechsel ca. 0,7-1,0 /h).

Aus wirtschaftlichen Gründen wurde vom Eigentümer des Gebäudes die Minimalsanierung durchgeführt. Bei einer Sanierungskontrolluntersuchung wurden die vorab angestrebten Sanierungszielwerte knapp eingehalten.

7.5.2.2 Holzständerbauten neu

7.5.2.2.1 Fall 1: Geruchsbeschwerden und Befindlichkeitsstörungen in einem Einfamilienhaus

In einem neu erstellten Einfamilienhaus in Holzständerbauweise werden von den Eigentümern kurz nach Bezug eine erhebliche Geruchsbelästigung und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen, quellnahe Messungen von Bauteiloberflächen mittels statischen Messzellen sowie die Bestimmung des Luftwechsels mit Tracergas. Die Raumluftmessungen wurden im Gleichgewichtszustand und bei Simulation eines erhöhten Luftaustausches mit einem Gebläse (ca. 0,5 /h) durchgeführt.

Zu den Untersuchungsterminen konnte in dem Einfamilienhaus ein intensiver aromatisch holzartiger Geruch wahrgenommen werden. Die Raumluftmessungen ergaben im Gleichgewichtszustand TVOC-Gehalte zwischen 5.000 und 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hauptbestandteile waren bitykliche Terpene (ca. 2500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Überschreitung RW II), C4-C11-Aldehyde (ca. 650 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Überschreitung RWI), Furfural (ca. 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Überschreitung RWII) und Essigsäure (ca. 2.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Als Quelle konnten die eingesetzten Holzwerkstoffe der Wände und Decken (jeweils mehrschichtiger Aufbau) zugeordnet werden. Die ermittelte Luftwechselrate lag zwischen 0,01 und 0,03 /h. Durch die Simulation eines erhöhten Luftaustausches (zunächst Lüften mit einem Gebläse mit einem 20-fachen Luftwechsel; anschließend definierter Luftaustausch über 8h bei ca. 0,5 /h) konnte keine signifikante Senkung des TVOC-Gehaltes in der Raumluft erreicht werden. Als Ursache ist eine erhebliche Sekundärbelastung der raumseitigen Oberflächen anzunehmen, die auch bei erhöhtem Luftaustausch nicht mittelfristig abgelüftet werden kann.

Den Eigentümern wurde zunächst der Einbau einer Lüftungsanlage (ca. 0,8 /h) und Kontrollmessungen nach Ablüften der Sekundärkontaminationen (ca. 6 Monate) empfohlen.

7.5.2.2.2 Fall 2: Geruchsbeschwerden und Befindlichkeitsstörungen in einer Kindertagesstätte

In einer neu erstellten Kindertagesstätte werden massive Geruchsbeschwerden im Zusammenhang mit Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Zwei Wochen nach der Eröffnung wird die Kindertagesstätte bis auf Weiteres geschlossen. Die Kindertagesstätte ist in Holzständerbauweise errichtet. Die Wände weisen eine Doppel- bis Dreifachbeplankung mit OSB-Platten auf. Das Lüftungskonzept sieht eine Fensterlüftung vor. Die Untersuchungsstrategie umfasste neben der geruchssensorischen Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen auf VOC im Gleichgewichtszustand und unter Nutzungsbedingungen sowie Prüfkammeruntersuchungen des Wandaufbaus. Darüber hinaus wurde das Abklingverhalten über den Zeitraum von einem Jahr ermittelt.

Die erste Bestandsaufnahme ergab einen TVOC von ca. 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, der sich im Wesentlichen aus Aldehyden (ca. 2.500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), bityklischen Terpenen (ca. 2.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), n-Butylacetat (ca. 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Essigsäure (ca. 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und Alkylbenzole (ca. 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zusammensetzte. Als wesentliche Emissionsquelle konnte der Wandaufbau identifiziert werden. Einen Monat später war ein signifikanter Rückgang in der Raumluft messbar (TVOC ca. 2.500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Zwischen der Messung im Gleichgewichtszustand und der Messung unter Nutzungsbedingungen lag etwa der Faktor 4. Im Jahresverlauf war ein weiterer Rückgang auf etwa 1.600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nachweisbar. Die relative Zusammensetzung der nachgewiesenen Substanzen änderte sich jedoch deutlich. Während für n-Butylacetat (4 %), Alkylbenzole (4 %) und die bityklischen Terpene (12 %) im Vergleich zu den Ausgangskonzentrationen nur noch sehr geringe Gehalte nachweisbar waren, war für die Aldehyde (34 %) und Essigsäure (44 %) ein signifikant geringerer Rückgang feststellbar. Insbesondere die Raumluftkonzentration der Aldehyde (837 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) stellte weiterhin eine erhebliche Beeinträchtigung der Raumluftqualität dar.

7.5.2.3 Holzständerbauten alt

7.5.2.3.1 Fall 1: Muffig-schimmelartige Gerüche in einem Kindergarten

In einem Kindergarten (Baujahr ca. 1970) werden seitens der Nutzenden intensive muffig-schimmelartige Gerüche bemängelt. Das Gebäude wurde zur Hälfte in Holzständerbauweise errichtet (andere Hälfte in Massivbauweise). Die Untersuchungsstrategie umfasste die Erfassung der Raumluftkonzentration von VOC, MVOC, Chloranisole, Chlornaphthaline, Holzschutzmittel und Schimmelpilze und quellen nahe Raumluftmessungen. Darüber hinaus wurden potentielle

Quellen bei Unterdruckhaltung im Gebäude identifiziert sowie Materialproben nach Bauteilöffnung von außen entnommen.

Zu den Untersuchungsterminen war ein intensiver muffig-schimmelartiger Geruch wahrnehmbar, der geruchssensorisch bei Unterdruckhaltung der Westwand (Holzständerbauweise) zugeordnet werden konnte. Die Bauteilöffnungen zeigten dort eine moderne Holzkonstruktion mit einem intensiven, muffig-schimmelartigen Geruch nach Chloranisolen und Chlornaphthalinen. Die chemischen Untersuchungen zeigten auffällige Konzentration an Chloranisolen und Chlornaphthalinen in der Raumluft, dem Westwandaufbau sowie in den Materialproben der Holzständer und der Außenwandbeplankung. Aus toxikologischer Sicht konnte keine auffällige Konzentration an Holzschutzmitteln nachgewiesen werden. Auffällige Schimmelpilzkonzentrationen in der Raumluft lagen ebenfalls nicht vor.

Dem Eigentümer des Gebäudes wurde ein weitestgehender Austausch der West-Außenwand inkl. einer Abschottung nach innen empfohlen. Nach Umsetzung der Maßnahmen zeigte sich eine deutliche Minderung des Störgeruchs die chemisch-analytisch in einer deutlichen Minderung der Raumluftkonzentration an Chloranisolen und Chlornaphthalinen nachweisbar war.

7.5.2.4 Container

7.5.2.4.1 Fall 1: Geruchsbeschwerden und Reizerscheinungen in einer Bürocontaineranlage

In einer Bürocontaineranlage werden seitens der Beschäftigten unangenehme Gerüche und Reizerscheinungen bemängelt. Der Geruch wird als chemisch-reizend beschrieben. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen, quellnahe Messungen, Materialuntersuchungen mittels Thermodesorption und die Bestimmung des Luftwechsels.

In den Bürocontainern konnte der bemängelte chemisch-reizende Störgeruch wahrgenommen werden. Die VOC-Untersuchungen (Raumluft und quellnahe Messungen mittels statischen Messzellen) ergaben keine eindeutigen Hinweise auf die Ursache der Geruchsbelästigung. Die Ergebnisse der Materialproben des PVC-Bodenbelags (Thermodesorption) zeigten jedoch ein auffälliges Emissionspotential von Isoalkoholen (C₁₄-C₁₈) und den korrespondierenden Weichmachern (Phthalaten). Da aufgrund der Konstruktion der Container ein Feuchteinfluss und damit ein hydrolytischer Abbau der Weichmacher zu Isoalkoholen ausgeschlossen werden konnte, sind als Ursache produktionsbedingte Rückstände an Isoalkoholen anzunehmen. Mit einem SVOC-Screening von Raumluftproben mittels PU-Schaum konnten die Isoalkohole mit 40-70 µg/m³ nachgewiesen werden. Die Ursache der Reizwirkung konnte chemisch-analytisch nicht aufgeklärt werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass diese Verbindungen im Zusammenhang mit den Verunreinigungen des PVC-Bodens freigesetzt werden.

Durch eine Probesanierung in einem Büroraum (Entfernung des PVC-Bodenbelags inkl. Kleber) konnte der Störgeruch nur unzureichend verringert werden, da die Bodenplatte (Spanplatte) signifikante Sekundärkontaminationen aufwies. Nach der Abschottung der Bodenplatte mit einer Dampfsperre war der Störgeruch nicht mehr wahrnehmbar.

7.5.2.4.2 Fall 2: Geruchsbeschwerden in einer Bürocontaineranlage

In einer Bürocontainer-Anlage werden seitens der Nutzenden unangenehme Störgerüche bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasste neben der geruchssensorischen Bestandsaufnahme Raumluftmessungen auf VOC und bauphysikalische Messungen.

Zum Untersuchungstermin konnte in den bemängelten Containern geruchssensorisch zwei unterschiedliche Quellen identifiziert werden:

- ▶ süßlich-muffiger Geruch vom Bodenaufbau
- ▶ marzipanartiger Geruch von der Außenwand

In der Raumluft konnten erhöhte Raumluftkonzentrationen von 2-Ethylhexanol und Benzaldehyd nachgewiesen werden. Als Quelle für die erhöhten 2-Ethylhexanol-Emissionen war der PVC-Bodenbelag zuzuordnen. Aufgrund der Bauweise des Containers (auf Steinen aufgebockt) und der damit verbundenen Auskühlung der Bodenplatte von unten war ein Kondensationsfeuchteschaden nachweisbar, der zu einer hydrolytischen Aufspaltung der im PVC-Bodenbelag enthaltenen Weichmacher (Hydrolyseprodukt: 2-Ethylhexanol) führte. Als Ursache für die erhöhten Benzaldehydemissionen sind Spaltprodukte eines Photoinitiators der UV-gehärteten Beschichtung der Außenwandspanplatten anzunehmen.

7.5.2.4.3 Fall 3: Geruchsbeschwerden in einer Schulcontaineranlage

In einer Schulcontaineranlage werden massive Geruchsbeschwerden geäußert. Die Untersuchungsstrategie umfasste Raumluftmessungen und Bauteilöffnungen. Im Rahmen der Bauteilöffnungen konnten umfangreiche Wassereinträge inklusive Schimmelpilzbefall im Bodenaufbau lokalisiert werden. Die Raumluftmessungen zeigten erhöhte Raumluftkonzentrationen an Glykolderivaten, Alkoholen, Aldehyden und organischen Säuren welche auf feuchteinduzierte Abbaureaktionen des eingesetzten Bodenbelagsklebers (Hydrolyse der Weichmacher zu Alkoholen, Hydrolyse und anschließenden Oxidation von Estern zu Alkoholen, Aldehyden und Säuren) zurückgeführt werden konnten. Der auftraggebenden Person wurde die Durchführung einer Schimmelpilzsanierung inkl. Austausch des Bodenaufbaus empfohlen.

7.5.3 Dach und Fassade

7.5.3.1 Fassadenabdichtung/Fassadenreinigung

7.5.3.1.1 Fall 1: Geruchsbeschwerden nach Fassadenreinigung

In einem Bürogebäude werden im Zusammenhang mit Fassadenreinigungsarbeiten (Abbeizen von Graffiti) seitens der Beschäftigten Beschwerden über unangenehme Gerüche geäußert. Die Untersuchungsstrategie umfasste exemplarische Raumluftmessungen in zwei betroffenen Büroräumen.

Anhand der Untersuchungsergebnisse konnte ein Eintrag der Bestandteile (1,2-Propylenglykolmonomethylether und Butylacetat) bzw. potentieller Zersetzungsprodukte (Dimethylsulfid) des eingesetzten Beizmittels in die Büroräume plausibilisiert werden. Die nachgewiesenen Konzentrationen waren aus toxikologischer Sicht als unbedenklich zu bewerten, sodass zur Reduzierung der Geruchsbelästigung verstärkte Lüftungsmaßnahmen empfohlen wurden.

7.5.3.2 Flachdachdämmung

7.5.3.2.1 Fall 1: Fischartige Gerüche in der Fischabteilung eines Supermarktes

In einem neu erstellten Supermarkt treten im Bereich der Fischabteilung unangenehme fischartige Gerüche auf. Seitens des Betreibers wurde die Gebäudeinstallation (Fettabscheider, Abwasserleitungen) umfassend geprüft. Das Gebäude (Stahlbetonbau mit Flachdach) ist mit einer Lüftungsanlage (Zu- und Abluft) ausgestattet, die einen geringfügigen Unterdruck im Gebäude induziert. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme, die Prüfung von Leckagen bei Unterdruckhaltung, die Erfassung von VOC

und von Aminverbindungen (Spezialabsorbens, Auswertung über HPLC-MS/MS) in der Raumluft sowie eine exemplarische Öffnung des Dachaufbaus inklusive quellnaher Beprobung.

Zum Untersuchungstermin konnte der bemängelte fischartige Geruch im Bereich der Fischabteilung wahrgenommen werden. Die geruchssensorische Prüfung der Fischtheke, der Abflüsse und des Fettabseiders ergaben keine Auffälligkeiten. Bei Unterdruckhaltung im Gebäude verstärkte sich der fischartige Geruch. An einer exemplarischen Öffnung des Dachaufbaus wies die Mineralwolle der Dachdämmung den im Supermarkt wahrnehmbaren fischartigen Geruch auf. Innerhalb der Mineralwolle lag eine Ausgleichsfeuchtigkeit von 80–95 % r.F. vor. Die Überprüfung weiterer Bereiche des Flachdachs ergab großflächige Bereiche mit erhöhten Feuchtegehalten der Mineralwolle. Bei Überdruckhaltung im Supermarkt konnte zudem ein deutliches Aufblähen der oberen Dachhaut beobachtet werden.

Als Ursache für den bemängelten fischartigen Geruch ist damit die feuchte Mineralwolle anzusehen. Im feuchten Milieu können die in der Mineralwolle als Bindemittel eingesetzte harnstoffhaltigen Phenol- und/oder Melamin-Harze zersetzt werden. Der Eintrag in die Raumluft des Supermarktes erfolgt über Leckagen innerhalb der Luftdichtigkeitsebene. Über die Auswertung der Raumluftproben und der quellnahen Proben aus der geruchsauffälligen Mineralwolle konnte der fischartige Geruch nicht eindeutig chemisch-analytisch beschrieben werden. In der Bibliotheksrecherche der Tenax-Proben waren jedoch einige Stickstoffverbindungen nachweisbar. Als Markersubstanz für den fischartigen Geruch konnte Dimethylformamid identifiziert werden.

Als Sofortmaßnahme wurde dem Betreiber des Gebäudes eine Veränderung der Steuerung der Lüftungsanlage empfohlen (Überdruck im Supermarkt). Mittelfristig sind der Austausch der feuchten Mineralwolle sowie die Identifizierung/Abdichtung aller Leckagen in der Luftdichtheitsebene erforderlich.

7.5.3.2.2 Fall 2: Fischartige Gerüche in einem Büro

In einem Bürogebäude auf einem Industriepark werden von den Beschäftigten fischartige Gerüche bemängelt. Der Störgeruch tritt wiederholt in unregelmäßigen Abständen auf. Ein Teilbereich des Gebäudes (Stahlbetonbau mit Flachdach) wird als Labor genutzt. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme mit einer Prüfergruppe (5 Prüfende), die Prüfung von Leckagen bei Unterdruckhaltung und die Erfassung der Ammoniakkonzentration mit einem direktanzeigenden Messgerät.

Zum Untersuchungstermin konnte der bemängelte fischartige Geruch im betroffenen Büro nicht wahrgenommen werden. Bei Unterdruckhaltung im Büro war an den Fensteranschlüssen ein fischartiger Geruch wahrnehmbar, welcher von den betroffenen Beschäftigten als der bemängelte Störgeruch identifiziert wurde. Die Bestandsaufnahme im vorgelagerten Flachdach ergab einen Feuchtehotspot der Mineralwolle von 95-99 % r.F (Ausgleichsfeuchte) im Bereich der Dachentwässerung. Hohe Feuchtegehalte der Mineralwolle korrelierten dabei mit hohen Ammoniakkonzentration sowie einer zunehmenden Intensität des fischartigen Störgeruchs. Als Ursache der Geruchsbelästigung ist damit die feuchteinduzierte Zersetzung der Bindemittel der Mineralwolle (harnstoffhaltige Phenol- und/oder Melamin-Harze) anzusehen. Hierbei werden Stickstoffverbindungen (u.a. Ammoniak) freigesetzt, die zum Teil eine fischartige Geruchsnote aufweisen. Der Eintrag der fischartigen Gerüche in die Büroräume erfolgt zunächst durch Überdruck innerhalb des Flachdachs (z.B. durch Sonneneinstrahlung). Hierbei entweichen die fischartigen Gerüche am Anschluss der Dachhaut an die Außenwand und reichern sich in der hinterlüfteten Fassadendämmung an. Liegt gleichzeitig ein Unterdruck in den Büroräumen gegenüber der Außenluft vor (z.B. Windeinflüsse, geöffnete Fenster etc.), werden die

Störgerüche von der Fassadendämmung über Leckagen im Bereich der Fensteranschlüsse in das Büro eingetragen.

Als Sofortmaßnahme wurde dem Betreiber des Gebäudes die Abdichtung der Fensteranschlüsse empfohlen. Da ein Wassereintrag in die Mineralwolle des Dachaufbaus zu einem Verlust der Dämmeigenschaften und zu Schimmelpilzbefall führen kann, ist mittelfristig die Erneuerung der Fehlstellen und der Austausch der feuchten Mineralwollen notwendig.

7.5.3.3 Flachdachabdichtung

7.5.3.3.1 Fall 1: Chemischer Geruch nach Abdichtung eines Flachdachs

Nach Durchführung von Dacharbeiten zur Abdichtung des Flachdachs wird im darunterliegenden Geschoss von den Bewohnenden in einem Zimmer ein auffälliger chemischer Geruch bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasste Raumlufmessungen sowie quellnahe Messungen des Deckenbereichs (in der Lampenverkleidung) und des Flachdachaufbaus.

Über die durchgeführten Raumlufmessungen konnte eine hohe Belastung mit flüchtigen organischen Verbindungen im betroffenen Ankleidezimmer ermittelt werden. Es waren im Wesentlichen Lösungsmittel (aliphatische und aromatische Verbindungen) nachweisbar. Über den Deckenhohlraum (in der Lampenverkleidung: TVOC = 9400 µg/m³) und den Flachdachaufbau war ein deutlicher Konzentrationsanstieg feststellbar. Die Lösungsmittel konnten über Datenblätter den eingesetzten Abdichtungsmaterialien zugeordnet werden.

Der auftraggebenden Person wurde eine Entlüftung des Flachdachaufbaus empfohlen. Kontrollmessungen drei Monate später zeigten einen signifikanten Rückgang der Lösungsmiteleinträge. Im Deckenbereich ging der TVOC-Gehalt um etwa den Faktor 50 zurück.

7.5.3.4 Fenster und Fensterabdichtungen

7.5.3.4.1 Fall 1: Geruchsbelästigung durch Glaspaketkleber

In einem neu erstellten Einfamilienhaus werden seitens der Eigentümer unangenehme Gerüche beim Öffnen der Fenster bemängelt. Als Ursache werden Geruchsemissionen der Fensterflügel vermutet. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische (in Anlehnung an VDA 270) und chemisch-analytische Erfassung der Geruchsemissionen eines Fensterflügels in einer Prüfkammer (provisorische Prüfkammer aus Nalophan). Anschließend wurden die Einzelteile des Fensterflügels geruchssensorisch nach VDA 270 beurteilt und in Primär- und Sekundärquellen unterteilt (Beurteilung über Abklingverhalten bei Lagerung unter definierter Belüftung). Zum qualitativen Nachweis der Geruchsstoffe wurde die identifizierte Primärgeruchsquelle in eine Mikroprüfkammer eingebracht, im Gleichgewichtszustand eine Raumlufprobe mit Tenax entnommen und mittels Sniffing-GC/MS analysiert.

Bei der Geruchsprüfung des gesamten Fensterflügels in der Prüfkammer konnten zwei Störgerüche (scharf/stechend/beißend und säuerlich/chemisch) mit hoher Intensität identifiziert werden. Die Prüfung der Einzelmaterialien ergab signifikante Sekundärkontaminationen der Silikondichtungen, des Verlegebandes und des Dichtklebers zwischen Glasscheibe und Flügel. Die Materialien der Außenseite des Fensters wiesen eine signifikant höhere Sekundärkontamination auf. Als Primärquelle konnte der Isolierglasklebstoff des Fensters identifiziert werden (Zweikomponenten Polysulfiddichtstoff). Mittels Sniffing-GC/MS konnte der scharf/stechend/beißende Störgeruch über die Bibliotheksrecherche ein Schwefelsäureester zugeordnet werden (Übereinstimmung des Bibliotheksvorschlages von 79 %). Dem säuerlich/chemischen Störgeruch konnte 1,4,5-Oxadithipan (Übereinstimmung des Bibliotheksvorschlages von 72 %) zugeordnet werden. Bei beiden Störgeruchspeaks waren sowohl in der Probe des gesamten Fensters als auch in der Probe des Isolierglasklebstoffs

nachweisbar. Als Ursache ist eine unvollständige Vernetzung des Isolierglasklebers zu vermuten, die zur Bildung der Schwefelverbindungen führt. Aufgrund der Konstruktion des Fensterflügels reichern sich die abgegebenen Geruchsstoffe primär an den Materialien der Außenseite an und können so beim Lüften in den Innenraum abgegeben werden.

7.5.3.4.2 Fall 2: Geruchsbelästigung in einem Wintergarten

In einem neu erstellten Wintergarten werden seitens der Eigentümer unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Der Geruch tritt insbesondere mittags und an warmen Tagen auf. Die Untersuchungsstrategie umfasste eine geruchssensorische Bestandsaufnahme mit fünf Prüfenden und die geruchssensorische Bewertung von Einzelmaterialien nach VDA 270 durch eine Gruppe von Prüfenden (5 Personen). Zusätzlich wurde mit einem Luftfilter (Kombinationsfilter mit Mikro- und Nanopartikelfilter, Aktivkohlefilter, Chemiedesorption, Elektrofilter) ein erhöhter Luftwechsel (2,5 /h) simuliert, um den Einfluss des Luftaustausches auf die Geruchsintensität zu prüfen.

Anhand der durchgeführten Geruchsprüfungen war im Wintergarten eine signifikante Geruchsbelästigung feststellbar. Mit dem Luftfilter konnte die Intensität des Störgeruches (kunststoffartig/Gummidichtung) leicht reduziert werden (3 Wochen dauerhafter Betrieb). Der Geruch wurde von den Geruchsprüfern jedoch weiterhin als nicht akzeptabel bewertet. Über die Geruchsprüfung der im Wintergarten eingesetzten Baumaterialien konnte die Glasauflagedichtung eindeutig als Primärquelle des Störgeruchs identifiziert werden. Da die Erhöhung des Luftaustauschs zu keiner signifikanten Verbesserung der Raumluftqualität führte, wurde dem Eigentümer der Austausch der Glasauflagedichtungen empfohlen. Die neuen Glasauflagedichtungen wurden vor Einbau geruchssensorisch geprüft.

7.5.3.4.3 Fall 3: Geruchsbelästigung nach Fensteraustausch

In einem Mehrfamilienhaus werden in einer Wohnung nach Austausch der Fenster unangenehme Gerüche bemängelt, die sich insbesondere bei Sonneneinstrahlung verstärken und auf die Fenster zurückzuführen seien. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme sowie die geruchssensorische Prüfung verdächtiger Einzelmaterialien durch eine Gruppe von Prüfenden (nach VDA 270).

Zum Ortstermin konnte der bemängelte lösungsmittelartige Geruch in den Räumlichkeiten der betreffenden Wohnung nicht wahrgenommen werden (Ortstermin an einem bewölkten Tag). Bei der geruchssensorischen Prüfung der Fenster konnte der bemängelte Störgeruch jedoch an den äußeren Dichtungen der Fenster im Wohnzimmer und Schlafzimmer wahrgenommen werden. Weitere Bauteile der Fenster waren geruchssensorisch unauffällig. Anhand der Geruchsprüfung der auffälligen Dichtungsmaterialien durch eine Gruppe von Prüfenden (VDA 270) konnte ein unzumutbarer, aromatisch-lösungsmittelartiger Störgeruch festgestellt werden. Die Intensität des Störgeruchs konnte bei einer Prüfung bei 40 °C signifikant gesteigert werden. Aufgrund der Steigerung der Intensität des Störgeruchs bei erhöhter Temperatur, konnte die Aussage der Eigentümer der Wohnung bezüglich einer Geruchsbelästigung bei Sonneneinstrahlung plausibilisiert werden. Der Eigentümerin der Wohnung wurde der Austausch der geruchsauffälligen Dichtungen empfohlen.

Geruch und Schimmel

Häufig sind im Zusammenhang mit Feuchteschäden in Innenräumen auch typisch muffig, modrige Geruchsemissionen zu beobachten. Diese entstehen durch die von Schimmelpilzen und Bakterien abgegebenen Stoffwechselprodukte, z.B. Geosmin, 1-Octen-3-ol und sonstige MVOC (Microbially Volatile Organic Compounds), wie Dimethylsulfid oder durch bakteriell bedingte geruchsaktive Zersetzungsprodukte von Holzschutzmitteln, wie z.B. Chloranisole. Die

geruchsintensiven Substanzen werden von den Mikroorganismen an die Raumluft abgegeben und können aufgrund ihrer teilweise sehr niedrigen Geruchswahrnehmungsschwellen von den Raumnutzern als Geruchsbelästigung wahrgenommen werden.

Der Nachweis von MVOC (z.B. durch Raumluftmessungen, Geruchsanalyse, Schimmelspürhunde) kann ein Indiz für einen verdeckten Schimmelschaden sein. Über quellnahe Probenahme können auch potentiell betroffene Bauteile identifiziert werden. Da einige MVOC auch von anderen Quellen emittieren können (z.B. Pflanzeninhaltsstoffe, Parfüms, etc.), ist deren chemisch-analytischer Nachweis jedoch nur als Indiz und nicht als Nachweis eines Schimmelpilzschadens anzusehen.

In höheren Konzentrationen weisen einige MVOC eine toxische Wirkung auf. Bisherige praxisbezogene Untersuchungen in Innenräumen zeigen, dass die bisher gemessenen Konzentrationen in deutschen Wohnungen unterhalb einer akut toxischen Wirkungsschwelle liegen. Aktuelle Studien lassen jedoch den Schluss zu, dass MVOC durchaus zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen beitragen können. Über die gesundheitliche Wirkung bei langfristiger Exposition (z.B. chronische Auswirkungen) gibt es bislang keine Erkenntnisse.

7.6 Fallgruppe 4 – Innenliegende Quellen

7.6.1 Möbel

7.6.1.1 Fall 1: Geruchsbeschwerden durch einen Ledersessel

In einer Wohnung werden nach dem Erwerb eines Ledersessels unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen seitens der Bewohner bemängelt, welche auch nach über einem Jahr nicht signifikant abklingen. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme sowie die Erfassung der VOC in der Raumluft und die quellnahe Erfassung der VOC-Emissionen des Ledersessels durch Anbringen einer Einhausung um den Ledersessel.

Zum Untersuchungstermin war ein raumprägender, unangenehmer chemisch-pelziger Störgeruch wahrnehmbar, welche dem Ledersessel zugeordnet werden konnte. Die in der Raumluft aus olfaktorischer Sicht auffälligen Konzentrationen an Phenol und höheren Aldehyden waren über die vergleichende Raumluftuntersuchung eindeutig dem Ledersessel zuzuordnen. Als Ursache für den Störgeruch sind Restemissionen aus der industriellen Ledergerbung anzunehmen. Den Eigentümern wurde eine Reklamation des Ledersessels empfohlen.

7.6.1.1.1 Fall 2: Geruchsbeschwerden nach Neumöblierung

In einer Wohnung werden nach Neumöblierung seitens der Nutzenden unangenehme Gerüche beanstandet, die auch innerhalb von einem Jahr nicht signifikant zurückgehen. Die Untersuchungsstrategie umfasste eine systematische geruchssensorische Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen und quellnahe Luftmessungen in einem Kleiderschrank.

Zum Untersuchungstermin konnte ein intensiver aromatisch-fruchtiger Lösungsmittelgeruch wahrgenommen werden, der geruchssensorisch den Möbeln zugeordnet werden konnte. Die Raumluftmessungen zeigten auffällige Konzentrationen an iso- und n-Butylacetat (Summe ca. $1800 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sowie von aromatischen Verbindungen. Im Kleiderschrank lagen diese Substanzen um den Faktor 2-3 höher. Der beanstandete Geruch konnte damit auf die stark erhöhten Butylacetat-Emissionen der Möblierung zurückgeführt werden. Den Nutzenden wurde eine Nutzungsaussetzung empfohlen.

7.6.2 Produktanwendungen

7.6.2.1 Heizungsleck

Nach Neuanstrich der Heizungskörper durch einen Malerbetrieb klagen die Mieter über Geruchsbelästigung bei Betrieb der Heizung. Eine VOC-Messung im Sommer ergab keine Erkenntnisse. Eine vergleichende Messung in der Heizperiode bei kaltem und warmem Heizkörper zeigte einen signifikanten Anstieg an höheren Aldehyden in der Raumluft bei Betrieb des Heizkörpers. Geruchssensorisch war mit Aufdrehen des Heizkörpers ein unangenehmer Geruch wahrzunehmen. Damit konnte der Heizkörperlack als Ursache des Störgeruchs identifiziert werden. Die Sanierung fand aus wirtschaftlichen Gründen über einen Austausch des Heizkörpers statt.

7.6.3 Nutzung und ehemalige Nutzung

7.6.3.1 Umnutzung

7.6.3.1.1 Fall 1: Maschinenölgeruch in einer Verwaltung

In einem Verwaltungsgebäude werden seitens der Beschäftigten in einigen Büroräumen Beschwerden über maschinenölartige Gerüche geäußert. Das Gebäude wurde vor dem Umbau von einer Maschinenbaufirma genutzt. Anhand von Raumluftmessungen konnte der bemängelte Geruch bislang chemisch-analytisch nicht nachgewiesen werden. Die Untersuchungsstrategie umfasste eine systematische geruchssensorische Bestandsaufnahme aller Büroräume durch eine Gruppe von Prüfenden (7 Personen). Die Geruchsprüfung wurde im Gleichgewichtszustand und unter Nutzungsbedingungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Geruchsprüfung korrelierten mit den beanstandeten Büroräumen. In den beanstandeten Räumen konnte von allen an der Prüfung beteiligten Personen ein signifikanter Störgeruch nach Maschinenöl wahrgenommen werden. Anhand der mittleren Akzeptanzbewertung war in Abhängigkeit der Intensität des Störgeruchs eine zu erwartende Nutzungsunzufriedenheit von 60–95 % ableitbar. Durch Lüftungsmaßnahmen (Nutzungsbedingungen) konnte die Intensität des Störgeruches nicht signifikant reduziert werden.

Für die Räume mit einer hohen Intensität des maschinenölartigen Störgeruches wurde eine Nutzungsaussetzung empfohlen. Seitens der Verwaltung wurde den betroffenen Beschäftigten daraufhin ein Umzug in ein anderes Gebäude vorgeschlagen. Dieser Vorschlag wurde seitens der Beschäftigten aufgrund längerer Anfahrtswerte abgelehnt.

7.6.3.1.2 Fall 2: Geruchsbeschwerden nach Umnutzung eines Laborbereichs

Nach Umbau eines Laborbereichs zu einer Bürofläche werden von den Nutzenden eines Büros unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Aufgrund des intensiven Störgeruchs wird in dem Büro die Nutzung ausgesetzt. Die Untersuchungsstrategie umfasst die geruchssensorische Bestandsaufnahme und Prüfung von Gerucheinträgen aus angrenzenden Bauteilen. Darüber hinaus wurden Raumluftproben und quellnahe Proben des Bodenaufbaus entnommen.

Im Rahmen der Untersuchungen konnten externe Geruchseinträge ausgeschlossen werden. Der in der Raumluft wahrnehmbare muffig-schweißige Störgeruch konnte geruchssensorisch dem Bodenaufbau zugeordnet werden. Die Raumluftergebnisse aus der statischen Messzelle des Bodenaufbaus zeigten ein im Vergleich zu geruchsunauffälligen Räumen signifikantes Emissionspotenzial an organischen Säuren, Estern und Alkoholen. Darüber hinaus war eine nicht eindeutig identifizierbare organische Stickstoffverbindung nachweisbar. Über eine

Luftprobe aus dem Luftraum unterhalb des Estrichs konnten diese Substanzen dem Estrich zugeordnet werden. Als Ursache sind Einträge von Laborchemikalien im Laufe der vormaligen Nutzung anzunehmen. Dem Eigentümer des Gebäudes wurde der Austausch des gesamten Bodenaufbaus inkl. Estrich empfohlen.

7.6.3.2 Ehemalige Nutzung

7.6.3.2.1 Uringerüche in einer Mietswohnung

In einer Mietswohnung werden nach Auszug der Mieterin durch den Eigentümer unangenehme urinartige Gerüche bemängelt. Aufgrund der Pflegebedürftigkeit der Mieterin werden großflächige Einträge von Urin in den Bodenaufbau befürchtet. Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme der einzelnen Räume (2 Prüfer) sowie die systematische Erfassung des Feuchtegehaltes des Fußbodenaufbaus. Darüber hinaus wurde Ammoniak als Indikator für Urinbestandteile und dessen Abbauprodukte mit einem direktanzeigenden Messgerät bestimmt.

Im Rahmen der Geruchsprüfung konnte ein unzumutbarer, urinartiger Störgeruch in allen Räumen der Mietswohnung festgestellt werden. Mit dem Ammoniakmessgerät konnten an der Mehrzahl der Bodenöffnungen (mittels Kernbohrer; ca. 50mm) signifikante Ammoniakkonzentrationen ermittelt werden. Die Ammoniakkonzentrationen stiegen nach Entfernung der Dämmschicht unterhalb des Estrichs nochmals deutlich an. Die erhöhten Ammoniakkonzentrationen in den Bodenöffnungen korrelierten auch mit erhöhten Feuchtwerten (Ausgleichsfeuchte im Hohlraum der Kernbohrung 75-80 % r.F.).

Als Ursache des als unzumutbar zu bewertenden urinartigen Störgeruches konnten zwei großflächige Bodenbereiche im Schlafzimmer und Wohnzimmer identifiziert werden, in denen der urinartige Geruch mit dem Nachweis von Ammoniak und erhöhter Feuchte korrelierte. Der Urineintrag war bis in die Dämmschicht unterhalb des Estrichs nachweisbar, sodass in den betroffenen Räumen der Austausch des Bodenaufbaus inkl. Estrich und Dämmung empfohlen wurde.

7.6.3.2.2 Raucherwohnung

Bei Tabakrauchkonsum werden eine Vielzahl von flüchtigen Verbindungen insbesondere über den Sekundärstrom in die Raumluft emittiert. Diese Verbindungen können sich in Abhängigkeit ihres Dampfdruckes und ihrer chemischen Eigenschaften an raumseitigen Oberflächen absetzen. Durch Diffusion gelangen sie auch in tiefere Materialschichten. Aufgrund der Vielzahl der schwerer flüchtigen geruchsintensiven Substanzen führen solche Tabakkondensatablagerungen auch Jahre nach Beendigung des Tabakrauchkonsums zu erheblichen Geruchsbelästigungen. Dabei kann der Geruchseindruck des gealterten Tabakrauches nicht mehr dem charakteristischen Geruch von Tabakrauch zugeordnet werden.

Der Nachweis einer relevanten Geruchsbelastung mit gealtertem Tabakrauch ist am ehesten geruchssensorisch möglich. Die Analyse von Raumluft- und Materialproben der Wandoberflächen auf Nikotin kann Anhaltspunkte für eine Belastung mit Tabakkondensatablagerungen geben. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Nikotin flüchtiger ist als die Bestandteile des gealterten Tabakrauchgeruchs.

Bei der Sanierung betroffener Innenräume ist es notwendig, poröse Materialien, wie Putz, zu entfernen bzw. abzufräsen. Die Verwendung von Nikotinsperrgrund hilft zwar gegen das farbliche Durchschlagen des Tabakkondensats, zeigt jedoch nur eine eingeschränkte Wirkung in Bezug auf das Absperren der Geruchsstoffe.

7.6.3.2.3 Katzenhaltung

Insbesondere die vormalige Nutzung durch mehrere Katzen kann zu langandauernden und schwer zu sanierenden Geruchsbelästigungen führen. Besonders in Gruppen gehaltene Katzen markieren Bauteiloberflächen. Katzen- und Hundeurin unterscheiden sich chemisch voneinander. Die wesentlichen Unterschiede, die auch den Geruchsunterschied erklären, sind die im Katzenurin enthaltenen Katzenpheromone, die im Hundeurin nicht enthalten sind.

Pheromone werden von Katzen verwendet, um zu kommunizieren. Felinin ist eine schwefelhaltige Aminosäure, die im Urin anderer Tiere – insbesondere von Hunden – nicht enthalten ist. Felinin zersetzt sich zu dem Pheromon 3-Mercapto-3-Methylbutan -1-ol (MMB), einer Verbindung, die Katzen- und insbesondere Katerurin seinen typischen Geruch verleiht. Die Zersetzung des nicht flüchtigen Felinins in das flüchtige MBB erfolgt langsam. Dies ist die Ursache dafür, dass Katzen- und insbesondere Katerurin zu langanhaltenden Geruchsbelästigungen führt, weil über das nicht flüchtige Felinin eine Depotwirkung vorhanden ist.

Die Analyse erfolgt bislang nur geruchssensorisch, weil sich weder das Felinin noch das MBB in der Routineanalytik erfassen lässt. Kleinere Schäden können mit einer Behandlung mit Wasserstoffperoxid beseitigt werden. In tiefere Bauteile eingedrungener Urin lässt sich nur durch Rückbau beseitigen.

7.6.4 Tote Tiere

Insbesondere über die Abwasserinstallation und vergessene Ablaufrohre können Tiere wie Ratten in Bauteilhohlräume gelangen, sich dort einnisten, vermehren, urinieren, koten und sterben. Die Intensität des Geruches nimmt dabei mit der Zeit und der Nutzungsintensität durch die Tiere zu. Andere Geruchsprobleme können über das Eindringen von Mardern in Dachdämmungen entstehen.

Die Lokalisierung der Geruchsquelle erfolgt geruchssensorisch bei Unterdruckhaltung in den betroffenen Innenräumen.

7.7 Fallgruppe 5 – Außerhalb des Raumes liegende Quellen

7.7.1 Hausinstallation

7.7.1.1 Fall 1: Eintrag von Abwassergerüchen in ein Bankgebäude

In einem Bankgebäude werden in den Büros des Vorstandes wiederkehrende Abwassergerüche bemängelt. Die gesamte Vorstandsetage wird mit einer zentralen Lüftungsanlage be- und entlüftet. Die Untersuchungsstrategie umfasste die Prüfung von Geruchseinträgen bei Unterdruckhaltung mit einem Gebläse sowie den Nachweis von Luftströmungen mittels Theaternebel.

Zum Untersuchungstermin lag der Abwassergeruch nicht vor. Bei Unterdruckhaltung konnten keine signifikanten Leckagen ermittelt werden. Die Begehung des Daches zeigte einen Abstand von etwa 2 Metern zwischen der Frischluftzufuhr der Lüftungsanlage und der Strangentlüftung des Gebäudes. Über die Beaufschlagung der Strangentlüftung mittels Nebel konnten die Luftströmungen zwischen Strangentlüftung und der Ansaugung der Lüftungsanlage mittels Video dokumentiert werden. Dem Gebäudeeigentümer wurde daraufhin eine bauliche Veränderung der Strangentlüftung oder der Ansaugung der Lüftungsanlage empfohlen.

7.7.1.2 Fall 2: Eintrag von Fettabscheidegerüchen in einer Spielhalle

In einer Spielhalle werden in einigen Gebäudeteilen seitens der Beschäftigten und der Kundschaft unangenehme abwasserähnliche Gerüche bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasst die geruchssensorische Bestandsaufnahme durch vier geschulte Personen (nach AGÖF-Geruchsleitfaden).

Anhand der Ergebnisse der Geruchprüfung ist eine signifikante Geruchsbelästigung abzuleiten (Geruch mit einer hohen Intensität, negativer Hedonik und Akzeptanz). Als Störgeruch wurde von den Prüfenden mehrheitlich ein charakteristischer Fettabscheidergeruch beschrieben. Die Geruchsprüfenden konnten diesen Störgeruch eindeutig einem im Kellergeschoss befindlichen Fettabscheider zuordnen. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten (zwischen Kellergeschoss und den betroffenen Räumen sind interzonale Strömungen über Bauteilhohlräume sehr unwahrscheinlich) konnte abgeleitet werden, dass der Störgeruch über das Abwassersystem (leergelaufene Siphons, Strangentlüftung etc.) in die Räume eingetragen wird. Der Eintrag der Gerüche wird durch den Betrieb der Lüftungsanlage verstärkt. Dem Gebäudeeigentümer wurde eine umfassende Prüfung des Abwassersystems (insbesondere auf nicht mehr genutzte Abwasser(teil)leitungen und eine Anpassung der Lüftungsanlage) empfohlen.

7.7.1.3 Fall 3: Eintrag von Schwimmbadgerüchen in ein Hotel

In einem Gebäudekomplex mit Fitnessstudio, Hotel und Büros werden in einigen Hotelzimmern von den Gästen Schwimmbadgerüche bemängelt. Die entsprechenden Hotelzimmer befinden sich räumlich oberhalb Wellnessbereichs (Schwimmbad und Sauna) des Fitnessstudios.

Die geruchssensorische Bestandsaufnahme durch zwei geschulte Geruchsprüfer bestätigte das Vorliegen von Schwimmbadgerüchen in den Hotelzimmern. Daraufhin wurde dem Betreiber des Fitnessstudios eine Anpassung der Lüftungsanlage empfohlen. Da diese nicht zu dem gewünschten Erfolg führte, wurden weitere Untersuchungen (Differenzdruckmessungen, Tracergasuntersuchungen) durchgeführt.

- ▶ Die Differenzdruckmessungen über ca. 15 h zeigten einen konstanten Unterdruck der Hotelzimmer gegenüber der Außenluft von ca. 2-4 Pa. Dies ist auf die zum Feuchteschutz dauerhaft betriebenen Lüfter in den Badezimmern zurückzuführen. Der Wellnessbereich des Fitnessstudios weist während den Betriebszeiten einen Überdruck von bis zu 10 Pa auf. Außerhalb der Betriebszeiten des Fitnessstudios liegt ein konstanter Unterdruck gegenüber der Außenluft von etwa 8 Pa vor. Damit konnte in den betroffenen Hotelzimmern während den Betriebszeiten des Fitnessstudios durchgehend ein Unterdruck gegenüber dem Fitnessstudio und insbesondere dem Wellnessbereich nachgewiesen werden.
- ▶ Nach der Ausbringung von Tracergas (Wasserstoff als Formiergas) im Wellnessbereich des Fitnessstudios konnte messtechnisch ein signifikanter Anstieg der Wasserstoffkonzentration in den betroffenen Hotelzimmern festgestellt werden. Die Prüfung mit einem H₂-Sniffer ergab diffuse Einträge von Wasserstoff über die Steckdosentanks im Boden, Fußleisten der Außenwand, Steckdosen und Lichtschalter, Blechverkleidungen der Fensteranschlüsse sowie Durchbrüche von Heizungsrohren.

Zusammenfassend konnte eine Vielzahl von Luftverbindungen zwischen dem Wellnessbereich und den betroffenen Hotelzimmern nachgewiesen werden. Ursächlich für den Eintrag der Schwimmbadgerüche ist jedoch die Druckdifferenz zwischen Wellnessbereich und den Hotelzimmern. Die Druckdifferenz des Wellnessbereichs wird durch mehrere unterschiedliche Lüftungsanlagen mit unterschiedlichen zeitlich gesteuerten Regelstufen beeinflusst. Hinzu kommen Einflüsse von geöffneten Fenstern und Türen. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten

ist das gesamte Fitnessstudio inkl. Wellnessbereich als ein Luftraum anzusehen. Dem Gebäudeeigentümer wurde eine umfassende Anpassung der Regelung und Abstimmung der Lüftungsanlagen empfohlen, um dauerhaft einen Unterdruck im Fitnessstudio sicherzustellen. Die Anpassung der Lüftungsanlage soll messtechnisch durch Erfassung der Druckdifferenz begleitet werden.

7.7.1.4 Fall 4: Geruchsbelästigung durch eine Dunstabzugshaube

In der Küche eines Hotels werden nach umfangreichen Umbaumaßnahmen (u.a. Erneuerung der Lüftungstechnik) seitens der Angestellten wiederkehrende unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Die Untersuchungsstrategie umfasst die geruchsensorische Bestandsaufnahme und Raumluftmessungen in der betroffenen Küche und in Referenzräumen sowie quellnahe Luftmessungen.

Im Rahmen der Untersuchungstermine konnte ein dumpfer aldehydischer Störgeruch festgestellt werden, der geruchssensorisch auf den Bereich der Dunstabzugshaube eingegrenzt werden konnte. Die Raumluftmessungen zeigten aus olfaktorischer Sicht erhöhte Konzentrationen an Acetophenon, Nonanal, Benzaldehyd, Phenol, Benzoesäure und Phenylmaleinsäureanhydrid. Die weitere technische Analyse der Lüftungstechnik ergab, dass in der Dunstabzugshaube ein Plasmafilter zur Oxidation der Kochemissionen installiert wurde, der unabhängig vom Betrieb der Dunstabzugshaube im Dauerbetrieb war. Über Ozonmessungen konnte nachgewiesen werden, dass die Dunstabzugshaube im ausgeschalteten Zustand erhebliche Mengen Ozon emittiert. Als Ursache der Geruchsbelästigung sind ozon-induzierte Abbaureaktionen der VOC in der Raumluft anzusehen. Dem Eigentümer wurde eine Änderung der Steuerung der Dunstabzugshaube empfohlen (Betrieb des Plasmafilters darf nur bei gleichzeitigem Betrieb der Dunstabzugshaube möglich sein).

7.7.2 Ölheizung

Insbesondere ältere Kunststofftanks weisen gegenüber flüchtigen und geruchsintensiven Heizölbestandteilen keinen dauerhaften Diffusionswiderstand auf. Dies führt zu Emissionen in die Raumluft des Heizöllagerkellers. In Abhängigkeit der Belüftung des Heizöllagerkellers und Leckagen können die Emissionen und damit die Heizölgerüche in die Nutzungsräume gelangen. Der Nachweis des Eintrags erfolgt über vergleichende Raumluftuntersuchungen und dem Einsatz von Tracergas (Detektion der Leckagen).

7.7.3 Holzpellettheizung

Holzpellets können aufgrund von Chargeninhomogenitäten erhebliche Geruchsemissionen aufweisen, die auf Aldehyde und organische Säuren zurückzuführen sind. Dies führt zu Emissionen in die Raumluft des Lagerraums. In Abhängigkeit der Belüftung des Lagerraumes und der Leckagen können die Emissionen und damit die Geruchsemissionen in die Nutzungsräume gelangen. Der Nachweis des Eintrages erfolgt über vergleichende Raumluftuntersuchungen und dem Einsatz von Tracergas (Detektion der Leckagen).

7.7.3.1 Fall 1: Holzgeruch in einem Verwaltungsgebäude

In einem Verwaltungsgebäude kommt es nach der Einlagerung von Holzpellets in das Pelletlager im Keller zu einer erheblichen Geruchsbildung in dem darüber genutzten Verwaltungsbereich. Erste Untersuchungen durch den Energieversorger wiesen erhöhte Belastungen mit Kohlenmonoxid im Bereich der Verwaltungsräume nach. Über Raumluftmessungen konnte anhand der Substanzzusammensetzung ein eindeutiger Einfluss von Holzwerkstoffemissionen in den Verwaltungsräumen nachgewiesen werden (Terpene, azyklische Aldehyde, organische

Säuren). Der auftraggebenden Person wurde die Abdichtung des Pelletlagers gegenüber den Verwaltungsräumen empfohlen.

7.7.4 Nutzung benachbarter Räume/Gebäude

7.7.4.1 Fall 1: Eintrag von Gerüchen aus einer Kunststofftütenherstellung

In einer Mietswohnung im 1. OG eines Mehrfamilienhauses (Baujahr ca. 1900) werden seitens der Mieter unangenehme Gerüche insbesondere bei Betrieb des Kaminofens und der Gastherme bemängelt. Der Geruch schwankt nach Angaben der Mieter zwischen Zigarettenrauch und beißend plastikartigem Geruch. Im Erdgeschoss grenzt an das Mehrfamilienhaus ein Kleingewerbebetrieb an, der aus Kunststofffolien Kunststofftüten (Hitzedraht-Verschweißung) herstellt.

Die Untersuchungsstrategie umfasste die Prüfung von Geruchseinträgen bei Unterdruckhaltung, die Lokalisierung von Leckagen innerhalb des Wand- und Bodenaufbaus mit Theaternebel, die Ermittlung der Druckdifferenzen innerhalb des Gebäudes, sowie die Erfassung der flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen konnten mittels Theaternebel signifikante Luftverbindungen (Leckagen) zwischen dem Werkstattbereich (inkl. Raucherraum) der Kunststofftütenherstellung und der Mietswohnung im 1. OG festgestellt werden. Der im Werkstattbereich wahrnehmbare Geruch stimmte mit den seitens der Mieter bemängelten Störgerüchen überein. Das zunächst empfohlene Abdichten der im Werkstattbereich identifizierten Leckagen mit PU-Schaum und Klebeband brachte keine signifikante Reduzierung der Geruchseinträge, da aufgrund der baulichen Gegebenheiten nur etwa 90 % der identifizierten Leckagen abgedichtet werden konnten.

Die anschließende Erfassung der Druckdifferenzen innerhalb des Gebäudes zeigte auch bei Betrieb der Abluftanlage (unbekannter Wartungszustand) einen konstanten Überdruck des Werkstattbereichs gegenüber der Mietswohnung im 1. OG und erklärte damit die Geruchseinträge. Anschließend wurde mit einem Gebläse der Volumenstrom bestimmt, der auch unter ungünstigen Bedingungen (Betrieb des Kaminofens und der Gastherme in der Mietwohnung) einen Unterdruck des Werkstattbereichs gegenüber der Mietwohnung im 1. OG sicherstellt. Dem Eigentümer des Gebäudes wurde die Installation eines Lüfters im Werkstattbereich mit dem ermittelten Volumenstrom empfohlen.

7.7.4.2 Fall 2: Eintrag von Emissionen von verpackten Zeitschriften

In den Büroräumen eines Zeitschriftenverleihs werden seitens der Beschäftigten unangenehme Gerüche und Befindlichkeitsstörungen bemängelt. Unterhalb der Büroetage werden die zu verleihenden Zeitschriften in einer Produktionshalle angeliefert, ein Umschlag aufgeklebt und anschließend wieder verpackt. Die Untersuchungsstrategie umfasste eine geruchssensorische Bestandsaufnahme, Raumluftmessungen auf VOC, eine Suche von VOC-Quellen mittels Photoionisationsdetektor, sowie die Prüfung von Geruchseinträgen bei Unterdruckhaltung inkl. Theaternebel.

Während des Ortstermins konnte in den Büroräumen ein intensiver lösungsmittelartiger Geruch festgestellt werden. Der Geruchseindruck wurde durch den chemisch-analytischen Nachweis von Toluol und weiteren aromatischen Verbindungen (ca. 800 – 1300 µg/m³) sowie von Aldehyden (ca. 50-100 µg/m³) bestätigt. Darüber hinaus wurden in den Büroräumen Benzolkonzentrationen von ca. 10-15 µg/m³ ermittelt. Als Emissionsquelle konnten geruchssensorisch und chemisch-analytisch die Produktionshalle und dort insbesondere die verpackten druckfrischen Zeitschriften zugeordnet werden. Bei Unterdruckhaltung in den

Büroräumen (Beaufschlagung der Produktionshalle mit Theaternebel) konnte ein signifikanter Lufteintrag über einen nicht verschlossenen Versorgungsschacht in den Deckenbereich der Büroetage nachgewiesen werden. Von dort werden die Produktionsemissionen und Gerüche über die abgehängte Decke in die Büros eingetragen. Dem Eigentümer des Gebäudes wurde das Verschließen des nicht mehr genutzten Versorgungsschachtes empfohlen.

7.7.4.3 Nagelstudio

Bei Betreiben von Nagelstudios entstehen erhebliche Emissionen an Lösungsmitteln, Filmbildnern und Stabilisatoren aus Nagellack und Nagellackentferner. Beispiele für geruchsintensive Inhaltstoffe sind Butylacetat und Ethylacetat. Über interzonale Strömungen gelangen die Emissionen insbesondere in darüber liegende Stockwerke und führen dort zu Geruchsbelästigungen. Der Nachweis des Eintrags erfolgt über vergleichende Raumluftuntersuchungen und dem Einsatz von Tracergas (Detektion der Leckagen).

7.7.4.4 Fall 3: Eintrag von Geruchsemissionen aus einem asiatischen Imbiss in ein Möbelhaus

In einem Gewerbebau mit mehreren Gewerbebetrieben (asiatischer Imbiss, türkischer Imbiss, Bäcker, Möbelhaus) werden seitens der Eigentümer des Möbelhauses unangenehme Essensgerüche bemängelt die zu Anhaftungen an den ausgestellten und gelagerten Möbelstücken führe. Der betroffene Teil des Gewerbebaus ist ein Betonskelettbau mit Blechdach.

Die Untersuchungsstrategie umfasste die geruchssensorische Bestandsaufnahme in den Räumlichkeiten (3 Geruchsprüfer) und der im Möbelhaus und dessen Lager befindlichen Möbelstücke. Zum Untersuchungstermin konnte ein charakteristischer Essensgeruch nach asiatischer Küche in geringer bis mittlerer Intensität festgestellt werden. Die Geruchsintensität verstärkte sich signifikant im Luftraum der abgehängten Decke. In der abgehängten Decke waren mehrere Wanddurchbrüche für die Gebäudeinstallation (Abwasserleitung, Stromleitungen, etc.) in Richtung des Küchenbereichs des asiatischen Imbisses sichtbar. Aufgrund dieser Gegebenheiten erschien es als plausibel, dass die beim Kochen freigesetzten Emissionen über den Deckenbereich regelmäßig in das Möbelhaus eingetragen werden. Die geruchssensorische Prüfung der gelagerten Möbelstücke ergab keine Auffälligkeiten. Dem Vermieter des Gewerbebaus wurde die Abdichtung der Wanddurchbrüche empfohlen.

7.7.5 Kaminöfen in der Nachbarschaft

Geruchsbelästigungen durch Kaminöfen in der Nachbarschaft treten zunehmend auf. Ursachen sind ungeeignete Brennstoffe, Verbrennungsprozesse unter Sauerstoffmangel und nicht optimal angebrachte Kamine. Die Geruchseinwirkung wird dabei als besonders belästigend empfunden, weil diese nicht durch Lüften beseitigt werden kann. Da die Geruchsereignisse in Abhängigkeit der Nutzung und der Windeinflüsse sehr unregelmäßig sind, ist ein Nachweis über Luftanalysen chemischer Bestandteile schwierig. Der Nachweis ist über die Langzeitaufzeichnung von Feinstaub möglich, wird allerdings von Quereinflüssen wie Rauchen, Nutzung und Verkehr beeinflusst. Die Selektion der Partikelklassen hilft jedoch, die einzelnen Verursacher zu unterscheiden.

7.7.6 Tabakrauch aus benachbarten Wohnungen

7.7.6.1 Fall 1: Leckagen innerhalb des Gebäudes

In einem Mehrfamilienhaus (Baujahr ca. 1970) werden von den Mietern im 1. OG Tabakraucheinträge aus der darunterliegenden Mietswohnung beklagt. Die Untersuchungsstrategie umfasst die geruchssensorische Bestandsaufnahme und die

Lokalisierung von Luftströmungen/Leckagen zwischen den beiden Wohnungen mittels Theaternebel bei Unterdruckhaltung.

Bei Unterdruckhaltung in der Mietswohnung im 1. OG (Beaufschlagung der Raucherwohnung im EG mit Theaternebel) war ein signifikanter Eintrag von Nebel im Bereich der Randleisten sowie an Fehlstellen des Parkettbodens sichtbar. Bei Überdruckhaltung in der Mietswohnung im 1. OG (Beaufschlagung der Mietswohnung im 1. OG mit Theaternebel) war ein signifikanter Eintrag von Nebel an der Verschraubung der Vorhangschiene im Wohnzimmer der Raucherwohnung im EG sichtbar.

Dem Eigentümer wurde eine Abdichtung der nachgewiesenen Leckagen von beiden Seiten (1. OG Boden, EG Decke) empfohlen, um den Eintrag von Tabakrauch zu minimieren.

7.7.6.2 Übertragung über die Außenluft

Die Übertragung von Tabakrauchemissionen kann auch über die Außenluft erfolgen. Trotz des Verdünnungseffektes über die Außenluft sind erhebliche Belästigungen möglich. Die Geruchseinwirkung wird dabei als besonders belästigend empfunden, weil diese nicht durch Lüften beseitigt werden kann. Da die Geruchsereignisse in Abhängigkeit des Rauchverhaltens und der Windeinflüsse unregelmäßig sind, ist ein Nachweis über Luftanalysen chemischer Bestandteile wie z.B. Nikotin schwierig. Der Nachweis ist über die Langzeitaufzeichnung von Feinstaub möglich, wird allerdings von Quereinflüssen wie Kaminen, Nutzung und Verkehr beeinflusst. Die Selektion der Partikelklassen hilft jedoch, die einzelnen Verursacher zu unterscheiden.

8 Fazit

Die statistischen Auswertungen für die Geruchsgruppen zeigen, dass in Geruchsbeschwerderäumen für verschiedenen Verbindungen – je nach Zusammensetzung der Stichprobe – deutlich höhere Perzentile (P90 und P95) als in Räumen ohne Geruch festgestellt werden können. Die TVOC-Werte waren bei den Altdaten in den Geruchsbeschwerderäumen niedriger als in der Gesamtgruppe und höher als in der Gruppe ohne Geruch. Die TVOC-Werte der DB 3 (nur Geruchsfälle) lagen über den Werten für die Gesamtgruppe der Altdaten.

Der Eindruck „bei Geruchsfällen findet man häufig keine auffälligen VOC Konzentrationen“ bestätigt sich hier nicht. Die aus den Geruchsfällen der Altdaten (VOC DB 1 und 2) und der DB 3 ermittelten auffälligen Stoffe in Geruchsbeschwerderäumen sind unterschiedlich. Statistisch gesehen handelt es sich bei den in Geruchsbeschwerdefällen in auffälligen Konzentrationen nachgewiesenen Stoffen nicht unbedingt um Geruchsstoffe. Die hohe Anzahl an Geruchsbeschwerdefällen im Zusammenhang mit Belastungen durch Naphthalin und weitere flüchtige PAK führte zu einer häufigeren Überschreitung von Innenraumrichtwerten für Naphthalin und Naphthalin-ähnlichen Verbindungen in der DB 3.

In der VOC-Datenbank können Geruchsbeschwerdefälle aufgrund ihrer Komplexität und Vielfalt nicht systematisch dargestellt werden. Mögliche Quellen und Ursachen gehen über das VOC-Spektrum hinaus. Um Quellen und Ursachen innenraumtypischer Geruchsbeschwerdefälle darstellen zu können, wurde daher eine Systematik für Geruchsbeschwerden in Innenräumen mit Einzelfallbeschreibungen erstellt.

Aufgrund der Komplexität von Geruchsbeschwerdefällen ist ein umfangreiches methodisches Repertoire erforderlich, das sich bei Bedarf sensorischer, analytischer und physikalischer Verfahren bedienen kann. Neben einer möglichst umfangreichen VOC-Analytik können auch weitere Analysen z.B. auf Ammoniak oder Ozon in Frage kommen. Geruchsbeschwerdefälle sind oftmals Einzelfälle die nicht standardisiert abgearbeitet werden können. Sie erfordern allerdings gerade eine strategisch durchdachte und systematische Bearbeitung.

Die Herangehensweise bei Geruchsbeschwerden eine VOC-Messung zu veranlassen und bei unauffälligen Konzentrationen daraus abzuleiten, dass keine weiteren Maßnahmen notwendig sind, wird der Problematik in vielen Fällen nicht gerecht. Auch wenn keine relevanten Belastungen nachgewiesen wurden, ist es in der Regel notwendig, geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um die Geruchsquelle zu ermitteln und zu beseitigen oder Alternativen zu finden. Es ist notwendig im Vorfeld die Fragestellungen und Untersuchungsziele zu klären und die sensorische Ebene von der stofflichen Ebene getrennt zu betrachten.

Die Beeinträchtigung durch Gerüche ist auch mit gesundheitlichen Risiken verbunden. Raumluftmessungen auf flüchtige organische Verbindungen und ggfs. andere Verbindungen sind notwendig, um gesundheitliche Risiken beurteilen zu können. Sie ermöglichen bei stofflicher Identifikation der Geruchsstoffe auch Rückschlüsse auf Quellen und Ursachen. Oftmals kann eine eindeutige stoffliche Zuordnung nicht getroffen werden, da die stoffliche Identifikation zu aufwändig wäre und Kenntnisse über Geruchsstoffe fehlen. In diesen Fällen ist eine pragmatische, der Problemstellung angepasste Vorgehensweise erforderlich.

Aufgrund der Bedeutung von Gerüchen in Innenräumen sollten mögliche Quellen für Gerüche nicht erst im Schadensfall, sondern bereits in der Planung, Errichtung und Abnahme von Gebäuden Berücksichtigung finden. Hierbei sind neben großflächig in Innenräumen eingebrachten Produkten wie Bodenbelägen auch kleinflächige Anwendungen und Anwendungen im Außenbereich z.B. Abdichtungen für Balkon, Dach, Fassade oder Keller sowie Produkte, die in der Konstruktion verwendet werden, zu beachten.

9 Ausblick

Für die Zuordnung und Identifikation von Geruchsstoffen in Innenräumen sind in Bezug auf Innenraumsituationen aussagekräftige Geruchsschwellenwerte notwendig. Da insgesamt nur wenige belastbare Geruchsschwellenwerte zur Verfügung stehen bzw. die vorliegenden Geruchsschwellenwerte zu einer Verbindung um mehrere 10er Potenzen voneinander abweichen können, besteht hier weiterer Forschungsbedarf. In diesem Zusammenhang ist es darüber hinaus erforderlich, nicht nur die Geruchsschwelle zu bestimmen, sondern auch Angaben in Bezug darauf, ab wann ein Geruch als unangenehm bzw. nicht akzeptabel bewertet wird, zu ermitteln. Die Erfahrungen aus der gutachterlichen Bewertung von Innenräumen zeigen, dass Stoffe wie z.B. höhere Aldehyde trotz deutlicher Überschreitung der in der Literatur genannten Geruchsschwellenwerte nicht zu Beanstandungen des Geruchs führen wohingegen bei Naphthalin schon im Bereich der Geruchsschwelle Beschwerden über den Geruch auftreten können.

Ein weiterer Forschungsbedarf besteht auch in Bezug auf den Vergleich und die Evaluation sensorischer Prüfverfahren in der Praxis. Wünschenswert wäre hier zudem der Vergleich zwischen sensorischen und analytischen Untersuchungsmethoden sowie die Kombination der üblichen GC-Methoden mit der Sensorik, um Geruchsstoffe chemisch und sensorisch identifizieren zu können.

Um das Vorkommen von Geruchsstoffen bzw. flüchtigen organischen Verbindungen generell in Innenräumen vergleichend beurteilen und aktuelle Vergleichsdaten aus Räumen mit und ohne Geruch zur Verfügung stellen zu können, sind kontinuierliche Datenerhebungen aus VOC-Messungen und Auswertungen erforderlich. Die Ergebnisse der bisherigen Datenbankprojekte zeigen, dass die AGÖF in der Lage ist, mit vergleichsweise geringem Aufwand umfangreiche, qualitativ hochwertige Daten aus Innenraummessungen zur Verfügung zu stellen.

Für zukünftige Datenerhebungen und Auswertungen wäre eine über die bisherigen Zusatzinformationen hinausgehende systematische Erfassung von Angaben zu Quellen, Ursachen und dem Erfolg von Maßnahmen wünschenswert.

Für Geruchsbeschwerdefälle sollte ein grundlegendes Handlungsschema entwickelt werden, um die Vorgehensweise und die Einbindung möglicher Methoden darzustellen.

10 Quellenverzeichnis

AGÖF (2004): AGÖF-Orientierungswerte für Raumluft und Hausstaub. In: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): - Ergebnisse des 7. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 4. und 5. März 2004 in München, 4-39

AGÖF (2007): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. 2007. In: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): - Ergebnisse des 8. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 19. und 20. September 2007 in Fürth, 36-56, aktuelle Version im Internet verfügbar unter: <https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html>, letzter Abruf 18.08.2022

AGÖF (2013): AGÖF-Leitfaden „Gerüche in Innenräumen– Sensorische Bestimmung und Bewertung“ Stand: 25.09.2013 https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEF-Geruchsleitfaden-2013.pdf, letzter Abruf 18.08.2022

AGÖF (2016): Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten, Entwurf der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden zur öffentlichen Diskussion bis Ende Dezember 2015 - Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.
https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEF-Stellungnahme-AIR-Konzept-Geruchsleitwerte-2016-03-11.pdf, letzter Abruf 18.08.2022

AGÖF (2016): AGÖF-Qualitätsrichtlinien. Im Internet verfügbar unter <https://www.agoef.de/verband/qualitaetsrichtlinien-innenraumschadstoffe.html>, Stand 04.01.2016, letzter Abruf 18.08.2022

AGÖF (2019): AGÖF Laborvergleichsmessungen. Im Internet verfügbar unter <https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-laborvergleiche/uebersicht-laborvergleiche.html>, Stand 22.05.2019, letzter Abruf 18.08.2022

Caroline E.W. Herr, Gerhard A. Wiesmüller und Dorothee Twardellas (2013): Umweltmedizinische Relevanz von Gerüchen in der Umwelt. In: Umweltmed–Hygiene–Arbeitsmed, 18 (1)27 29

Clemens-Ströwer M. (2013): Geruchsbelastungen in Innenräumen durch Phenol und Kresole aus PVC-Fußbodenbelägen – Vergleich olfaktorischer und chemischer Untersuchungen von Raumluft und Material. In: AGÖF Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Schadstoffe, Gerüche und schadstoffarmes Bauen - Ergebnisse des 10. Fachkongresses am 24. und 25. Oktober 2013 in Nürnberg, 157-166

DGUV (Hrsg.) (2013): Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. Report der gewerblichen Berufsgenossenschaften der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Berlin

DIN 1946-6:2019-12: Raumlufttechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung. Beuth, Berlin

DIN EN 16516:2020-10: Bauprodukte: Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft. Beuth, Berlin

DIN EN ISO 12569:2018-04: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen - Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden - Indikatorgasverfahren. Beuth, Berlin

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

DIN EN ISO 16000-10:2006-06: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 10: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfzellen-Verfahren. Beuth, Berlin

DIN EN ISO 16000-5 (2007): Innenraumluftverunreinigungen – Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC). Beuth, Berlin

DIN EN ISO 16000-9:2008-04: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfkammer-Verfahren. Beuth, Berlin

DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. Beuth, Berlin

DIN ISO 16000-28:2021-11: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer. Beuth, Berlin

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

DIN ISO 16000-30:2015-05: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 30: Sensorische Prüfung der Innenraumluft. Beuth, Berlin

DIN ISO 16000-6 (2012): Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID. Beuth, Berlin

Grams H, Gierden E, Tenhaken P (2015): Messungen in geruchsbelasteten Räumen zur Ermittlung der stofflichen Ursachen der Gerüche. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft. 75, 3, VDI Fachmedien GmbH, Düsseldorf

Grams H, Gierden E, Tenhaken P, Hausschild H (2016): Ermittlung der stofflichen Ursachen von Gerüchen. <https://www.ingenieur.de/fachmedien/gefahrstoffe/innenraumluft/messungen-in-geruchsbelasteten-raeumen-zur-ermittlung-der-stofflichen-ursachen-von-geruechen/>; Ergebnisse Ufoplan-Vorhabens: VOC-Datenbank - Tools und Auswertemöglichkeiten (Vortrag); WaBoLu-Innenraumtage Berlin 2017, letzter Abruf 18.08.2022

Hofmann H (2019): Ergebnisse des UFOPLAN Vorhabens: Gerüche in Innenräumen. (Vortrag); 26. WaBoLu Innenraumtage 2019; Berlin, 20. – 22. Mai 2019

Hofmann H (2019): VOC und Gerüche - Ergebnisse des UFOPLAN Vorhabens (Vortrag). Umwelt, Gebäude & Gesundheit. „Neu“- und Altlasten, Innenraumhygiene, Gerüche. 12. Fachkongresses der AGÖF Arbeitsgemeinschaft - Ergebnisse am 17. und 18. Oktober 2019 in Hallstadt bei Bamberg

Hofmann H, Erdmann G, Müller A. (2014): Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumlufqualität - Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluf von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege), UFOPLAN Vorhaben FKZ 3709 62 211
https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/forschung/AGOEF-Abschlussbericht_VOC_DB_II-barrierefrei.pdf, https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/forschung/AGOEF-Abschlussericht_VOCDDB_II_Anhang-nicht-barrierefrei.pdf, letzter Abruf 18.08.2022

Hofmann H, Köhler M, Müller A, Mertens J, Siemers U, Weis N (2013): „The AGÖF-VOC Database (2002-2012)“. Environment and Health, Bridging North South East and West; Conference of ISEE, ISES, ISIA, Basel, Switzerland 19-23 August 2013

- Hofmann H, Müller A, Plieninger P (2007): Ergebnisse des Forschungsprojekts „Erstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen Verbindungen in der Raumluft“. In: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): - Ergebnisse des 8. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 19. und 20. September 2007 in Fürth, 14-27
- Hofmann H: (2020): AGÖF-VOC-Datenbank, In: Gebäudeschadstoffe und Innenraumluft, Band 10, S. 37-50, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co.KG, ISBN 978-3-481-04056-7
- Köhler M (2005): AGÖF-Laborvergleich. Zeitschrift Umwelt& Gesundheit 4, 133–135
- Köhler M, Fangmeyer T, Marchl D, Braun P, Plieninger P, Weis N (2007): Ergebnisse des 2. und 3. Laborvergleichs der AGÖF „Flüchtige organische Verbindungen“ 2006 und 2007. In: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): - Ergebnisse des 8. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 19. und 20. September 2007 in Fürth, 28-34
- Köhler M, Hofmann H, Siemers U., Weis N (2010): Ergebnisse des 4. Laborvergleichs „Flüchtige organische Verbindungen“ 2009 der AGÖF. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg, 25-29
- Lisow W (2015): Masterarbeit "Bestimmung der Wahrnehmungs-, Erkennungs- und Akzeptanzschwelle von Naphthalin mittels dynamischer Olfaktometrie" - Hochschule Bremen
- Lisow W, Schmidt M, Mertens J, Thumulla J, Weis N, Köhler M, Pilgramm M (2015): Olfactometric determination of the odour detection threshold and the identification threshold of Naphthalene; Healthy Buildings Europe 2015, Eindhoven
- Maraun W, Pfeil S, Unger P (2015): Fertighausgeruch durch Chloranisole in der Raumluft älterer Fertighäuser: Ableitung eines Zielwertes für die Geruchsbeurteilung. ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel. Letzter Abruf am 30.09.2021 unter https://www.arguk.de/informationen/documents/Fertighausgeruch_durch_Chloranisole_in_der_Raumluft_aelterer_Fertighaeuser.pdf, letzter Abruf 18.08.2022
- Moody V, Needles H L (2004): Tufted Carpets. William Andrew Publishing.
- Schmidt M (2019): Alterung von Kunststoffen durch UV-Strahlung und Ozon als Ursache für Geruchsbeschwerden in Innenräumen. In: AGÖF Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. „Neu“- und Altlasten, Innenraumhygiene, Gerüche - Ergebnisse des 12. Fachkongresses am 17. und 18. Oktober 2019 in Hallstadt bei Bamberg, 224-235
- Scutaru A, Däumling C (2013): Vorbereitungen zur Einführung der normierten Geruchsprüfung im AgBB-Schema. In: AGÖF Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Schadstoffe, Gerüche und schadstoffarmes Bauen - Ergebnisse des 10. Fachkongresses am 24. und 25. Oktober 2013 in Nürnberg, 151-156
- Stolz D, Hofmann H, Weis N, Mertens J, Lisow W, Schmidt M, Schulz N (2016): Determination of Odour Perception Threshold, 18th Conference - Odour and Emissions of Plastic Materials, Kassel (Germany), March 2016
- Sucker K., Peters S., Giesen Y., (2017): IPA/IFA-Projekt: Wirkung und Bewertung von Gerüchen an Innenraumarbeitsplätzen. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft. 77, 9, VDI Fachmedien GmbH, Düsseldorf
- Thumulla J (2010): Erste Praxiserfahrungen zur Anwendung des AGÖF-Leitfadens zur sensorischen Bestimmung und Bewertung von Gerüchen in Innenräumen im Neubau eines Bürogebäudes mit multifaktoriellen Geruchsproblemen. In: AGÖF Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Schadstoffe, Gerüche, Sanierung - Ergebnisse des 9. Fachkongresses am 23. und 24. September 2010 in Nürnberg, 146-162

Thumulla J (2013): Gerüche – in Innenräumen – Sensorische Bestimmung und Bewertung: Ein Vergleich zwischen AGÖF-Leitfaden und VDI-Richtlinie 4302 / ISO 16000-30. In: AGÖF Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Schadstoffe, Gerüche und schadstoffarmes Bauen - Ergebnisse des 10. Fachkongresses am 24. und 25. Oktober 2013 in Nürnberg, 144-150

Thumulla J, Schmidt M., Maraun W, Hofmann H, Weis N (2016): Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF) zur 2015 erschienen Bekanntmachung des UBA zum Konzept der Geruchsleitwerte. In: AGÖF (Hrsg.) Umwelt, Gebäude & Gesundheit. S. 12 - 19, Springe Eldagsen, abrufbar unter: https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/orientierungswerte/AGOEF-Stellungnahme-AIR-Konzept-Geruchsleitwerte-2016-03-11.pdf, letzter Abruf 18.08.2022

Umweltbundesamt (2007): Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumluftthygienekommission (IRK) des Umweltbundesamtes sowie der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG). Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 50, 990-1005

Umweltbundesamt (2008): Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt 1, 109-112

Umweltbundesamt (2009): Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde in der Innenraumluft. Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörde. Bundesgesundhbl. 52, 650 - 659

Umweltbundesamt (2011): Ergebnisprotokoll der 43. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK und der AOLG am 5. und 6.04.2011.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/dokumente/43_kurzprotokoll.pdf, letzter Abruf 18.08.2022

Umweltbundesamt (2014): Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten Entwurf der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumluftthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden zur öffentlichen Diskussion bis Ende Dezember 2015. Bundesgesundhbl. 57, 148 - 153

Umweltbundesamt (2017): Protokoll der 5. Sitzung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) am 15. März 2017.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/empfehlungen_und_richtwerte_ergebnisprotokoll_der_5_sitzung_am_15_maerz_2017.pdf, letzter Abruf 18.08.2022

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2008): Hofmann H, Plieninger P, Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V.: Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft. WaBoLu-Hefte 05/08, Berlin.
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3637.pdf>, letzter Abruf 18.08.2022

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): Innenraumluftqualität nach Einbau von Bauprodukten in energieeffizienten Gebäuden. UBA Texte 36/2016, Dessau-Roßlau

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010): Schulz C, Ulrich D, Pick-Fuß H, Seiwert M, Konrad A, Brenske K, Hünken A, Lehmann A, Kolossa-Gehring M: Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/06 Innenraumluft- Flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft in Haushalten mit Kindern in Deutschland. Schriftenreihe Umwelt & Gesundheit, Berlin 03/2010.
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/4011.pdf>, letzter Abruf 18.08.2022

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2011): Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das Bewertungsschema des Ausschusses zur Gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. Texte 35/2011, Dessau-Roßlau

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss (Hrsg.) (2015): VDI 4302 Blatt 1. Geruchsprüfung von Innenraumlufte und Emissionen aus Innenraummaterialien – Grundlagen. Beuth, Berlin

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss (Hrsg.) (1997): VDI 4300 Blatt 2. Messen von Innenraumlufteverunreinigungen - Messstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB). Beuth, Berlin

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss (Hrsg.) (2001): VDI 4300 Blatt 7. Messen von Innenraumlufteverunreinigungen - Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen. Beuth, Berlin

Verband der Automobilindustrie VDA (Hrsg.) (2016): VDA 278 Thermodesorptionsanalyse organischer Emissionen zur Charakterisierung nichtmetallischer KFZ-Werkstoffe. VDA Berlin

Verband der Automobilindustrie VDA (Hrsg.) (2018): VDA 270 Bestimmung des Geruchsverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-Innenausstattung. VDA-Empfehlungen, VDA Berlin

Von Hahn N, Van Gelder R, von Mering Y, Breuer D, Peters S (2018): Ableitung aktueller Innenraum Arbeitsplatz-Referenzwerte. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 78, 63-71

Yoshio Y, Nagata E (2003): Measurement of Odor Threshold by Triangular Odor Bag Method
http://www.env.go.jp/en/air/odor/measure/02_3_2.pdf, letzter Abruf 18.08.2022

A Anhang A + Anhang B

Die zum Abschlussbericht des Forschungsprojektes gehörenden Anhänge A und B sind in einer separaten Datei veröffentlicht worden.