

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Gesundheitsbezogene Exposition, Innenraumhygiene

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3709 62 211

„Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumlufthqualität – Datenerhebung
für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumlufth von Wohn- und
Bürogebäuden (Lösungswege)“

Autoren:

Dr. Heidrun Hofmann
Dr. Georgia Erdmann
Andreas Müller

Projektleitung:

Dr. Heidrun Hofmann
Martin Hoffmann
Dr. Peter Plieninger

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

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

Juni 2014

Berichts – Kennblatt

Berichtsnummer 1. UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumlufthqualität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumlufth von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Heidrun Hofmann, Dr. Georgia Erdmann, Andreas Müller		8. Abschlußdatum 31.12.2012
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., Energie- und Umweltzentrum 1, 31832 Springe-Eldagsen		10. UFOPLAN-Nr. / Förderkennzeichen (FKZ) 3709 62 211
		11. Seitenzahl 154 + 269 (Anhang)
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau		12. Literaturangaben 42
		13. Tabellen / Diagramme 37 + 11 (Anhang)
		14. Abbildungen 54 + 38 (Anhang)
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Das Vorhaben umfasst die Erfassung und Auswertung überwiegend anlassbezogener VOC-Raumlufthmessungen von 16 Instituten der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute. Es wurden 4.846 Datensätze mit über 600.000 Einzelmesswerten aus den Jahren 2006 bis 2012 erfasst und ausgewertet. Darüber hinaus wurden gezielt Messungen in ausgewählten, energetisch optimierten Gebäuden durchgeführt. Die Datenkollektive werden anhand der Zusatzinformationen ausführlich beschrieben. Es werden statistische Kennwerte für die Gesamtdaten sowie ausgewählte Teilgruppen angegeben. Es werden Lösungswege zur Reduktion von VOC-Belastungen in Innenräumen vorgestellt.		
17. Schlagwörter		
18. Preis	19.	20.

Report - Data Sheet

1. Report No.: UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Conflict of Goals between Energy-efficient Buildings and Good Indoor Air Quality—Data Collection of Volatile Organic Compounds in Indoor Air of Residential and Office Buildings (solution-based strategies)		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Heidrun Hofmann, Dr. Georgia Erdmann, Andreas Müller	8. Report Date 31.12.2012	
	9. Publication Date	
6. Performing Organisation (Name, Address) Association of Ecological Research Institutes e.V., Energie- und Umweltzentrum 1, 31832 Springe-Eldagsen	10. UFOPLAN No. / Funding code (FKZ) 3709 62 211	
	11. Number of Pages 154 + 269 (Annex)	
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau	12. Number of References 42	
	13. Tables/Diagrams 37 + 11 (Annex)	
	14. Figures 54 + 38 (Annex)	
15. Supplementary Information		
16. Abstract <p>This project covers the collecting and analyzing of mostly event-specific VOC measurements in indoor air by 16 institutes of the Association of Ecological Research Institutes (AGOEF). From 2006 to 2012, 4846 datasets with more than 600,000 individual measurement values were collected and analyzed. In addition, measurements were also carried out in buildings specifically selected for their optimized energy-efficient performance.</p> <p>Based on the supplementary information, the datasets are provided with detailed descriptions.</p> <p>Statistical values are provided for sum totals as well as selected subgroups. Solution-based strategies for reducing VOC levels in indoor air are presented.</p>		
17. Keywords		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkung.....	8
2. Einleitung	9
3. Datenbank und Abfragetool.....	10
3.1 Datenerfassung.....	10
3.1.1 Testlauf und Optimierung.....	10
3.1.2 Beschreibung des Erfassungs-Tools	10
3.2 Datenbank (VOCDB 2.0).....	13
3.3 Userinterface (VOCDB-UI 2.0)	15
3.3.1 Importieren von Daten.....	15
3.3.2 Editieren von Daten.....	17
3.3.3 Auswerten von Daten	17
3.4 Import der Daten von VOCDB 1.0	19
4. Statistische Auswertung	19
Teil A Gesamtanalyse aller VOC-DB 2.0 Daten.....	20
5. Beteiligte Institute.....	20
6. Zusatzinformationen.....	20
6.1 Angaben zum Auftrag.....	21
6.1.1 Anlässe	21
6.2 Angaben zum Gebäude	23
6.2.1 Ort (PLZ).....	23
6.2.2 Bauweise	23
6.2.3 Baualtersklasse.....	25
6.2.4 Modernisierung/Neubau	25
6.2.5 Nutzung.....	26
6.2.6 Anzahl der Geschosse	28
6.3 Angaben zum Raum.....	29
6.3.1 Raumnutzung.....	30
6.3.2 Belüftung.....	31
6.3.3 Fußbodenbelag.....	32
6.3.4 Wände	33
6.3.5 Decke.....	34
6.3.6 Innenraum-Renovierung.....	35
6.4 Angaben zur Probenahme.....	37
6.4.1 Zeitpunkt der Probenahme.....	37
6.4.2 Untersuchungsziel.....	38
6.4.3 Lüftungsbedingungen.....	40

6.4.4	Raumsituation	41
6.4.5	Temperatur	43
6.4.6	Feuchte	44
7.	Methoden	44
7.1	Probenahme	44
7.2	Analytische Verfahren	45
8.	Substanzspektrum	45
8.1	Stoffumfang	45
8.2	Messwerte	46
9.	Ergebnisse der statistischen Auswertung	47
9.1	Vorkommen	47
9.2	Bestimmungsgrenzen	47
9.3	Beschreibung der Stoffgruppen	47
9.3.1	Alkane (n-Alkane, Isoalkane und Cycloalkane)	47
9.3.2	Alkene	48
9.3.3	Aromaten	48
9.3.4	Halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW)	48
9.3.5	Alkohole	49
9.3.6	Terpenoide Verbindungen	49
9.3.7	Aldehyde	49
9.3.8	Ketone	50
9.3.9	Ester ein- und zweiwertiger Alkohole	50
9.3.10	Mehrwertige Alkohole und deren Ether (Glykole und Glykolether)	50
9.3.11	Siloxane	51
9.3.12	Organische Säuren	51
9.3.13	Sonstige Verbindungen	51
9.3.14	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und ähnliche Verbindungen	51
9.3.15	Flammschutzmittel auf der Basis von Phosphorsäureestern	52
9.3.16	TVOC	52
9.4	Vergleich der VOC-Konzentrationen für verschiedene Raumnutzungstypen	52
9.5	Vergleich der VOC-Konzentrationen bei unterschiedlichen Lüftungsbedingungen	57
9.6	Vergleich der VOC-Konzentrationen in Räumen mit unterschiedlichen Lüftungsarten	58
9.7	Vergleich der VOC-Konzentrationen in den Teilgruppen für den "Zeitpunkt der Probenahme nach einer Renovierung"	58
9.8	Vergleich der VOC-Konzentrationen für verschiedene Baualtersklassen	62
9.9	Vergleich der VOC-Konzentrationen für verschiedene Energieklassen	63

Teil B - Teilanalyse der im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Messungen	.67
10. Beteiligte Institute	67
11. Auswahl der Gebäude	68
12. Zusatzinformationen	73
12.1 Angaben zum Gebäude	73
12.1.1 Bauweise	73
12.1.2 Altersklasse	73
12.1.3 Neubau/Modernisierung	74
12.1.4 Energiestandard	75
12.1.5 Anzahl Geschosse	75
12.2 Angaben zum Raum	75
12.2.1 Fußbodenbelag	75
12.2.2 Wand	76
12.2.3 Decke	76
12.2.4 Renovierung	77
12.2.5 Raumsituation	78
12.2.6 Belüftung	78
12.2.7 Luftwechselraten	78
12.3 Besondere Zusatzinformationen	79
12.4 Probenahmebedingungen	81
13. Untersuchungsumfang	83
14. Substanzumfang	83
14.1 Statistische Kenndaten Gesamtliste, Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)	83
14.2 VOC-Konzentrationen in Schulen und Wohngebäude, Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)	84
14.3 VOC-Konzentrationen im zeitlichen Verlauf (1. und 2. Messung), Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)	85
14.4 VOC-Konzentrationen für verschiedene Jahreszeiten (Sommer / Winter), Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)	85
14.5 Vergleich der VOC-Konzentrationen in Gebäuden mit und ohne Lüftungsanlage, Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)	86
14.6 Vergleich der VOC-Konzentrationen für Neubau und modernisierte Gebäude, Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)	86
14.7 Auswertung ausgewählter Stoffe	86
14.7.1 Luftwechselraten und Raumlufkonzentrationen für ausgewählte Stoffe	89

Teil C.....	96
15. Auswertung der Gesamtdaten VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0	96
15.1 Vergleich der Methoden im zeitlichen Verlauf.....	96
15.2 Vergleich der VOC-Konzentrationen im zeitlichen Verlauf (siehe VOC DB I).....	97
16. Diskussion.....	106
16.1 Zusammensetzung der Stichprobe / Datenkollektiv	106
16.2 Datenqualität.....	106
16.3 Stoffe / Methoden.....	107
16.4 Vorkommen.....	108
16.5 Einflussfaktoren.....	109
16.5.1 Raumnutzung.....	109
16.5.2 Baualtersklasse.....	110
16.5.3 Trends.....	111
16.5.4 Zeitpunkt der Probenahme nach Renovierung oder Neubau	111
16.5.5 Lüftungsbedingungen.....	112
16.6 Vergleich mit Richtwerten.....	113
16.7 Trends bei modernisierten Gebäuden und Neubauten und unterschiedlichen Lüftungstypen.....	116
17. Lösungsansätze	118
18. Ausblick.....	125
19. Zusammenfassung.....	126
20. Summary.....	133
21. Verzeichnisse.....	141
21.1 Literatur.....	141
21.2 Tabellen	145
21.3 Abbildungen	147
21.4 Verwendete Begriffe und Abkürzungen	150

1. Vorbemerkung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes aus Mitteln des Umweltforschungsplanes (UFOPLAN) gefördert.

Über die gesamte Laufzeit des Vorhabens wurde die Projektleitung durch die anregenden und engagierten Diskussionen mit den zuständigen Fachbetreuern des Umweltbundesamtes, Herrn Dr. Moriske und Frau Lüdecke, unterstützend begleitet. Ein besonderer Dank gilt auch Frau Däumling für ihre Unterstützung und wichtige Impulse für die Erstellung dieses Berichtes.

Dank des großen Engagements der beteiligten AGÖF-Institute war es möglich, erneut einen sehr umfangreichen Datenpool für weitere Auswertungen zur Verfügung zu stellen.

Bei der Erfassung energetischer Merkmale wurde die Projektleitung unterstützt durch Herrn Dr. Burkhard Schulze-Darup. Auf der Grundlage seiner Vorgaben konnte eine einfache Klassifizierung der energetischen Qualität der untersuchten Gebäude vorgenommen werden.

Großer Dank gilt auch den AGÖF-Vorständen und den Teilnehmern der AGÖF-Fachgruppentreffen, die durch konstruktive Diskussionen das Projekt inhaltlich gefördert haben.

Neben der fachlichen Unterstützung oblag den AGÖF-Vorständen auch das Projektcontrolling, was durch die zuverlässige Verwaltung des Vorhabens von der Geschäftsführerin der AGÖF, Frau Marlies Ante, bestens vorbereitet wurde. Ihrer Mitarbeit bei der Berichterstellung ist u.a. das einheitliche Layout der Tabellen zu verdanken.

Unser Dank geht auch an Frau Jutta Sturm für die unkomplizierte verwaltungsmäßige Betreuung des Vorhabens.

Ohne das große Engagement von allen Beteiligten wäre das Vorhaben in dieser Form nicht umsetzbar gewesen. Ihnen allen wird an dieser Stelle herzlich gedankt.

2. Einleitung

Die Belastung der Innenraumlufth mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) stellt ein lufthygienisches Problem in Wohnungen, Büroräumen und öffentlichen Gebäuden dar, das durch geringe Luftwechselraten in zunehmend dichteren Gebäuden verschärft wird. Es ist daher erforderlich, die Ziele des energiesparenden Bauens mit einer guten Qualität der Innenraumlufth in Einklang zu bringen.

Für die Bewertung der in Innenräumen vorhandenen Konzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumlufth existieren verschiedene Bewertungskonzepte. Bewertungskonzepte auf der Basis statistisch abgeleiteter Vergleichsdaten liefern eine wichtige Hilfestellung für die Beurteilung der Raumlufthkonzentrationen. Voraussetzung dafür ist, dass sie möglichst aktuell sind und das in Innenräumen vorhandene Substanzspektrum abdecken.

Die in der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute zusammengeschlossenen Institute verfügen kontinuierlich über eine sehr große Anzahl an anlassbezogenen Untersuchungsergebnissen aus Raumlufthuntersuchungen. Neben Messungen aufgrund von Beschwerdeanlässen gehören hierzu auch zunehmend Abnahmemessungen in neu errichteten oder modernisierten Gebäuden. Aufgrund ihrer langjährigen praktischen Erfahrungen und ihrer Anstrengungen, das sich verändernde Substanzspektrum in Innenräumen durch die Erweiterung der untersuchten Substanzen abzubilden, sind die AGÖF-Institute in der Lage, einen umfangreichen und validierten Pool an VOC-Messdaten für statistische Auswertungen zur Verfügung zu stellen.

Das Vorhaben zielte daher darauf ab, die aktuellen VOC- Messdaten und Begleitinformationen aus anlassbezogenen Untersuchungen der AGÖF-Mitglieder in einer Datenbank zusammenzuführen (Teil A). Bei der Datenerfassung und Erstellung der Datenbank konnte auf das vorhergehende Vorhaben „Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumlufth“ Bezug genommen werden.

Da in die Erfassung gebäude- und raumbezogener Begleitinformationen auch Angaben zur energetischen Qualität unter Bezugnahme auf vorhandene Klassifizierungssysteme aufgenommen wurden, war es möglich, den Einfluss der Energieeffizienz auf die Raumlufthqualität zu betrachten.

Darüber hinaus wurden in Teil B des Vorhabens gezielt Messungen in ausgewählten, energetisch optimierten Gebäuden durchgeführt, um weitere Einflussfaktoren differenziert betrachten zu können.

Mit diesem Vorhaben können VOC-Belastungen in Innenräumen systematisch und zeitnah verfolgt werden. Auf der Basis validierter Daten wurden statistische Kennwerte ermittelt, die als Hilfe bei der lufthygienischen Beurteilung von aktuellen Innenraumbelastungen herangezogen werden können.

Mit der Fortschreibung der Datenerhebung auf der Basis der bereits bestehenden VOC-Datenbank (VOC DB 1.0) ist eine Erweiterung und Aktualisierung der Datenbasis erfolgt, mit der die Abbildung zeitlicher Trends in Bezug auf die eingesetzten Substanzen sowie deren Konzentrationen von 2002 bis 2012 fortgeführt werden konnte (Teil C).

Weitergehende Untersuchungen in energetisch optimierten Gebäuden lieferten wichtige Hinweise, die in die Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Sicherung der Raumlufthqualität in energieeffizienten Gebäuden mündeten.

3. Datenbank und Abfragetool

3.1 Datenerfassung

Die Erfassung der Daten erfolgte durch die beteiligten AGÖF-Institute. Hierfür wurde das für die VOCDB 1.0 entwickelte, auf MS Excel basierende Erfassungs-Tool weiterentwickelt (VOCDB-IT 2.0). Die jedem Institut zur Verfügung gestellte Instanz des Tools bestand aus verschiedenen Tabellenblättern für Instituts-, Methoden-, Qualitätssicherungs-, Zusatzinformati- sowie Messdaten. Des Weiteren war dem Tool eine ausführliche Liste gängiger raumluftrelevanter Substanzen und deren Stoffdaten sowie synonyme Bezeichnungen hinterlegt. Diese konnte durch die Institute bei Bedarf individuell erweitert werden.

Über die einzelnen Tabellenblätter konnten Eingabeformulare für die Aufnahme der Daten aufgerufen werden. Alle pro Institut erfassten Datensätze wurden so systematisch aufgenommen.

Das Kernstück des Tools stellt das Tabellenblatt zu Erfassung der Messwerte dar. Mit ihm konnten Messwerte, die in Form von Word- oder Exceldateien in unterschiedlichsten Formaten vorlagen, mit sehr geringem Aufwand in das standardisierte Importformat überführt werden, auch bei Verwendung unterschiedlicher Stoffbezeichnungen.

Des Weiteren stand eine komplexe Eingabemaske für die Erfassung der Zusatzinformationen und Raumdaten zur Verfügung.

3.1.1 Testlauf und Optimierung

Wie bei VOCDB-IT 1.0 wurde mit Hilfe einer Reihe von Testprüfberichten und Ergebnistabellen, die von den beteiligten Instituten zur Verfügung gestellt wurden, die an die Bedürfnisse der VOCDB 2.0 angepasste Messwerteingabe getestet und auch neue Stoffdaten erfasst. Alle hinzugefügten Stoffe und Synonyme wurden hierbei auf Korrektheit überprüft. Da das Tool bereits für die Version 1 intensiv getestet worden war, wurde diesmal auf einen Testlauf durch die Institute verzichtet. Neue Funktionalitäten wurden jedoch intensiv durch die Projektausführenden getestet.

Die Endversion wurde mit einer ausführlichen Anleitung im Juli 2011 an die Institute verschickt. Zuerst waren insbesondere die Labore unter den Instituten aufgefordert, die Methoden und QS-Verfahren zu erfassen, so dass diese allen Beteiligten zur Verfügung gestellt werden konnten. In einem weiteren Schritt wurden die Daten für den Projektteil B bis Ende November 2011 mit Hilfe des Tools erfasst. Die Erfassung der Daten für den Projektteil A erfolgte bis September 2012.

3.1.2 Beschreibung des Erfassungs-Tools

Nachfolgend werden die einzelnen Tabellenblätter des Erfassungs-Tools und ihre Funktionsweise beschrieben. Hierbei wird insbesondere auf die Veränderungen gegenüber VOCDB-IT 1.0 sowie auf die Bereiche, in denen für das Projekt besonders relevante Daten erfasst wurden, eingegangen.

Methoden und Qualitätssicherungs-Verfahren (QS-Verfahren)

Der Methodenteil wurde ebenso wie die Qualitätssicherungs-Verfahren (QS-Verfahren) gegenüber der Version 1 nur unwesentlich verändert. Insbesondere wurden 2 selten verwendete Methoden nicht mehr bereitgestellt, während eine Methode zur Erfassung von Flamm- schutzmitteln hinzugefügt wurde.

Im vorliegenden Projekt wurden zwar alle Methoden und QS-Verfahren zur Absicherung der Qualität der Daten überprüft, eine gezielte Auswertung nach Qualitätskategorien sowie eine Auswertung nach unterschiedlichen Messmethoden war jedoch nicht Teil des Projektes. Der Erfassung der Methoden und QS-Verfahren kam somit nur eine untergeordnete Bedeutung zu, weswegen sie hier nicht ausführlich beschrieben werden soll. Eine detaillierte Beschreibung der Erfassung von Methoden und QS-Verfahren ist dem Projektbericht zur VOCDB 1.0 zu entnehmen.

Zusatzinformationen (ZI)

Da die Zusatzinformationen überwiegend nicht in elektronischer Form bei den Instituten vorlagen, war eine Eintragung von Hand erforderlich. Die Zusatzinformationen umfassten Pflichtangaben und freiwillige Angaben, wobei sich die Pflichtangaben nach Projektteil (A / B) sowie nach Zeitraum (vor/nach 2011) unterschieden.

Für den Projektteil B waren alle Angaben Pflichtangaben, für den Projektteil A waren nur einige Angaben Pflichtangaben. Für alle Messungen nach dem 1.1.2011 erhöhte sich die Menge der Pflichtangaben jedoch deutlich, da zu diesem Zeitpunkt den Instituten die Liste der zu erfassenden Daten zum Zeitpunkt der Messung bereits vorlag.

Aufgrund des veränderten Spektrums an zu erfassenden Parametern, musste die Maske zur Erfassung der Zusatzinformationen vollständig neu gestaltet werden. Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, war sie visuell unterteilt in Bereiche zur Erfassung von auftragsbezogenen Daten, Gebäudedaten, raumbezogenen Daten, Daten zu möglichen Modernisierungsmaßnahmen, weiteren Qualitätsmerkmalen sowie Daten zur Probenahme.

Fanden in einem Raum gleichzeitig mehrere Probenahmen statt, um ein breites Spektrum an Luftschadstoffen (z.B. auf VOC und Aldehyde und Ketone) mit verschiedenen Methoden zu erfassen, konnten bis zu drei QS-Verfahren und Probenahmeparameter angegeben werden. Nur die hier genannten QS-Verfahren konnten dann bei der Messwerteingabe den Stoffen bzw. Stoffgruppen zugeordnet werden (siehe auch Messwerteingabe).

Um Fehler bei der Eingabe zu vermeiden, war es nicht möglich, ZI-Datensätze per Copy&Paste zu kopieren. Lediglich bei Zweitbeprobungen in Räumen konnten die Raumdaten mit Verweis auf den ursprünglichen Datensatz wiederverwendet werden. Bei Mehrfachmessungen im selben Gebäude konnten zudem Datensatzkopien mit vorausgefüllten Gebäudedaten erzeugt werden.

Weitere Funktionen zur Qualitätssicherung der Eingabe ergaben sich aus einer Überprüfung des Definitionsbereiches der einzelnen Parameter (z.B. Temperatur, Feuchte etc.) sowie aus der Überprüfung der Vollständigkeit der Pflichtfelder in Abhängigkeit vom Probenahmetermin. Nur vollständige Datensätze konnten im Tool gespeichert werden.

Zusatzinfo

ZI-Kennung:

Interne Nummer:

ID:

Auftrag

Ziel:

- Statusmessung
- Einhaltung Richt.-Orientierungswerte
- Wiederholungsmessung
- Freigabemessung nach Sanierung

Anlass:

- Gerüche
- Gesundheitsbeschwerden
- Expositionsverdacht
- Abnahme (Qualitätssicherung, Zertifiziert)
- Anderer

Gebäude

Ort (PLZ):

Bauweise:

Baujahr:

Baualterklasse:

Nutzung:

- 1-2 Familienhaus
- MFH
- Büro/Verwaltung
- Schule/Bildungsbau
- Kindergarten
- Handel/Dienstleistung

Geschosse:

Modernisierung

<input checked="" type="checkbox"/> bekannt	Jahr	Text
Fassade	2008	
Dach / oberstes	2007	erneuert
Grund / Kellerdecke:		
Fenster / Außentüren:	2008	erneuert
Heizungsanlage:		
Lüftungstechnik		

Raum

Nutzung:

Fußboden:

Decke:

Belüftung:

Wand:

Renovierung:

Wann:

- Wände/Decken
- Fußboden
- Belag
- Unterboden
- Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen
- Neue Produkte/Möbel
- keine in den letzten 5 Jahren dem Nutzer unbekannt

Rauchen Baufeuchte Schimmel

Möbliert Geruch Intensität:

Weiter Qualitätsmerkmale

Passivhaus Energieeffizienzhaus Energieausweis Luftdichtigkeit

Null-Energiehaus Standard Heizenergie n50 [1h]

Schadstoffarm

Probenahme

Datum: Bedingungen: Personen:

Proben

QS-Verfahren	T [°C]	%-rel.F	Vol[μ l]	Fluss[l/min]	<input checked="" type="checkbox"/> Luftwechsel
test2	22	50	50	2	

Misch-QS: 1 2

Probenehmer:

Bemerkung

Bearbeitung

Ersteller: Datum: Bearbeiter: Datum:

OK

Abbrechen

Abbildung 1 Beispiel für die Eingabemaske „Zusatzinformationen“.

Messwerteingabe

Die Messdaten der Institute lagen in unterschiedlichsten Formaten vor. Ein Großteil der Daten waren in Texttabellen (Word) innerhalb von Gutachten und Berichten unterschiedlich formatiert eingebunden. Andere lagen in Excel Tabellen oder in Form eigener Datenbanken vor. Mit Hilfe des Tabellenblattes „Messwert Eingabe“ (Abbildung 2) konnten die gemessenen Konzentrationswerte und die Bestimmungsgrenzen leicht und weitgehend automatisiert mit Hilfe von Copy&Paste-Verfahren und anschließender Datenüberprüfung und -validierung in das einheitliche Format übertragen werden. Die Identifizierung der Substanzen erfolgte dabei anhand der CAS-Nummern, wobei letztere aus den verwendeten Substanzbezeichnungen und der integrierten Stoffdatenbank automatisch ermittelt werden konnten. Die erhebliche Anzahl von Einzelmesswerten konnte so mit Hilfe des Erfassungstools zügig eingelesen werden.

Messwert Eingabe Menü

CAS berechnen Übernehmen Schutz aufheben Zellen trennen Alles löschen Stoffname löschen

Interne Nummer: Standard-QS-Verfahren: 1000-er-Trennzeichen:

Zusatzinfo: Bemerkung: Einheit:

CAS	QS	formatiert	Stoffname	Messwert [s.o.]	BG [s.o.]
50-00-0	--std.--	190@6@asdfw	Methanal (Formaldehyd)	190	6
-UNKNOWN-			df	(0,16 ppm)	(0,005 ppm)
75-07-0	--std.--	170@5@asdfw	Ethanal (Acetaldehyd)	170	5
123-38-6	--std.--	<@1@asdfwe	Propanal	n.n.	1
123-72-8	--std.--	21@1@asdfwe	Butanal	21	1
110-62-3	--std.--	42@1@asdfwe	Pentanal	42	1
-UNKNOWN-			sdf		
-ENDE-					

Abbildung 2 Messwerteingabe über das Tool VOCDB-IT 2.0.

Die CAS-Nummernerkennung wurde so implementiert, dass Stoffnamen verschiedenster Nomenklaturen, Schreibweisen und Formatierungen erkannt wurden. Wurden dennoch Stoffe nicht erkannt, war es dem Nutzer möglich, eigene Synonyme hinzuzufügen oder die Schreibweisen der Stoffe im Einzelfall individuell anzupassen. Zudem konnten auch vollständig neue Stoffe und CAS-Nummern eingegeben werden.

Um die Trefferquote der CAS-Nummernerkennung zu erhöhen, wurden auch die optisch aktiven Isomere der Terpenkohlenwasserstoffe einzeln erfasst, da sie öfters in Prüfberichten genannt werden, obwohl sie gaschromatographisch nicht getrennt werden.

Bei Konzentrationswerten über 100 µg/m³ wurde automatisch darauf hingewiesen, diesen Einzelwert noch einmal zu überprüfen. Außerdem wurden Fehler- und Warnmeldungen erzeugt, wenn der Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenze lag, eine Bestimmungsgrenze nicht eingegeben wurde, Stoffe mit dem gleichen Verfahren zweimal gemessen wurden oder andere Unstimmigkeiten innerhalb der Daten vorlagen.

Um die Dateneingabe möglichst einfach zu gestalten, konnte jeder erfassten Messung ein Standard-QS-Verfahren zugeordnet werden. Wurden bei der Eingabe der Daten Messwerte für Stoffe und Stoffgruppen eingelesen, die mit unterschiedlichen Verfahren erfasst wurden, so konnte die Angabe des verwendeten Verfahrens individuell je Stoff und Messwert angepasst werden.

Im Gegensatz zu Version 1 war in Version 2 die Angabe einer Bestimmungsgrenze für alle Messwerte außer Summenparametern Pflicht, um bei der Auswertung in der Lage zu sein, Messwerte mit besonders hohen Bestimmungsgrenzen auszuschließen, ohne dass es dabei zu statistischen Verschiebungen der Grundgesamtheit kommt.

3.2 Datenbank (VOCDB 2.0)

Die Zusammenführung aller mittels des Erfassungs-Tools aufgenommenen Daten erfolgte in einer MS Access basierten Datenbank, genannt VOCDB 2.0.

Hierfür wurde in weiten Teilen auf die bereits für VOCDB 1.0 verwendete Datenstruktur zurückgegriffen. Anpassungen erfolgten jedoch bei den Attributen für die Tabellen zur Erfassung von Zusatzinformationen und Raumdaten entsprechend der Änderung der zu erfassenden Eigenschaften in Version 2. Die Struktur entspricht zudem weitgehend der bereits beschriebenen Datenstruktur des Erfassungstools.

Im Kern enthält sie Tabellen zur Abbildung von Stoffen, Stoffbezeichnungen, Stoffgruppen, Messwerten, Messungen, Probenahmen, Zusatzinformationen, Räumen, QS-Verfahren, Methoden und Institutsdaten. Zusätzlich wurden die verwendeten Eigenschaftslisten für die Kategorisierung der Zusatzinformationen und Raumdaten in einer Reihe weiterer statischer Tabellen hinterlegt. Die Kernstruktur der Datenbank ist Abbildung 3 zu entnehmen.

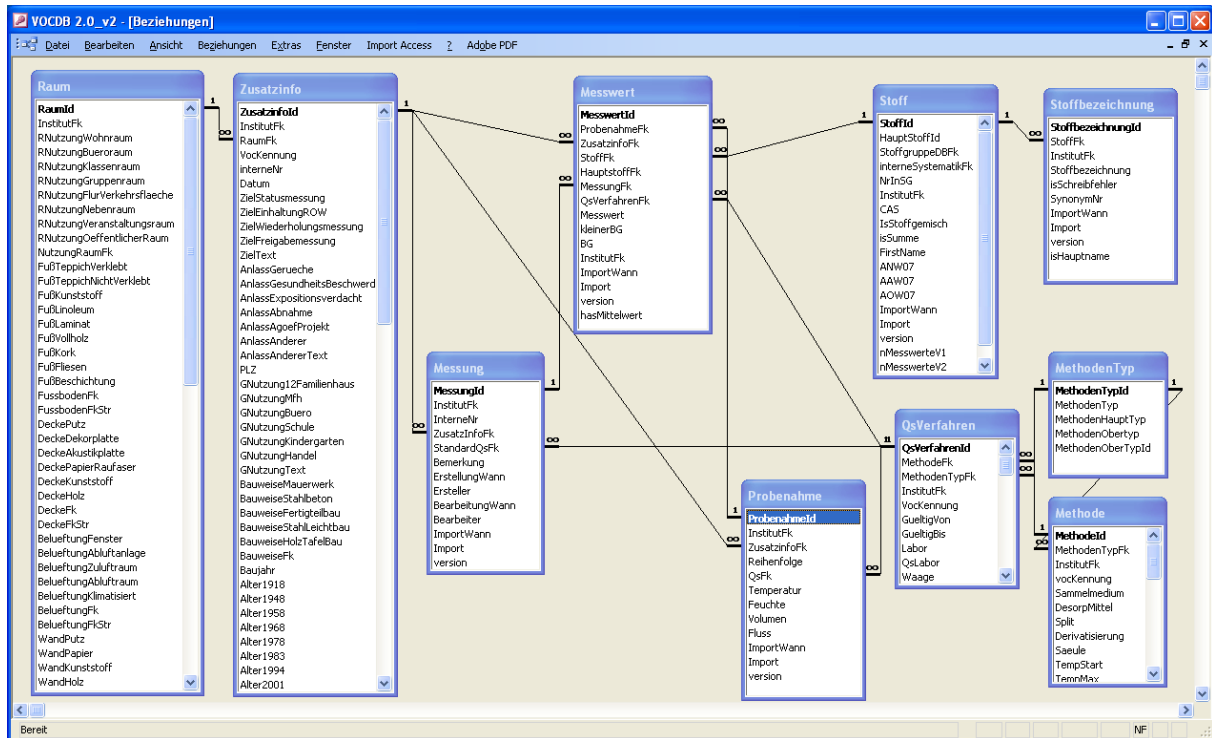


Abbildung 3 Vereinfachtes Datenbankschema der VOCDDB 2.0.

Bereits in VOCDDB 1.0 wurden Daten wie z.B. die Anzahl der vorliegenden Messwerte für einen Stoff vorberechnet („gecached“), um die Komplexität von Anfragen zu verringern und gleichzeitig ihre Performance zu erhöhen.

In VOCDDB 2.0 wurde auf Grundlage der Erfahrungen mit VOCDDB 1.0 das Cachingverfahren vereinfacht und optimiert. Nach Veränderung von Daten kann es auch von unerfahrenen Nutzern jederzeit durch Knopfdruck erneut angestoßen werden.

Für VOCDDB 1.0 stellte sich v.a. in der Nachprojektphase heraus, dass es ein Nachteil war, dass Mittelwerte von Messwerten, die mit verschiedenen Methoden erfasst wurden, nicht bereits in der Datenbank als Mittelwerte erfasst wurden. Dies wurde für Version 2.0 nachgeholt.

Auch wurden Messwerte für Substanzen, die üblicherweise gemeinsam betrachtet werden, wie z.B. Messwerte, die zusammengehörigen Stereoisomeren zugeordnet sind, zusätzlich zur originalen Stoffzuordnung auch mit dem übergeordneten Stoffgemisch verlinkt, so dass Abfragen direkt auf dieser Zuordnung durchgeführt werden können. Hierdurch erhöhte sich nicht nur die Performance von Abfragen, sondern auch die Komplexität bei der Abfrageformulierung gängiger Abfragen wurde deutlich verringert. Insbesondere in der Nachprojektphase, in der die Datenbank nicht regelmäßig benutzt wird, ist dies ein wichtiger Faktor zur schnellen und korrekten Erstellung von Datenbankabfragen für spezifische Fragestellungen.

3.3 Userinterface (VOCDB-UI 2.0)

Für die Verwendung der Datenbank wurde ein Userinterface (VOCDB-UI 2.0) neu entwickelt, welches ebenfalls auf MS Access basiert. Die Verbindung zur eigentlichen Datenbank erfolgte durch automatisierte Verlinkung von Tabellen der eigentlichen Datenbank in die Access-Instanz der VOCDB-UI 2.0. Die Trennung von Userinterface und Daten erfolgte bewusst, um das Userinterface separat von der Datenhaltung weiterentwickeln zu können und somit eine flexiblere Architektur zu erreichen und die Wartung zu erleichtern.

Folgende Kernfunktionalitäten wurden durch das Userinterface abgedeckt:

- Import von Daten aus den Erfassungs-Tools in die Datenbank
- Editieren von Daten
- Auswertung von Daten

Im Folgenden soll auf die genannten Funktionalitäten im Einzelnen eingegangen werden.

3.3.1 Importieren von Daten

Der Basisalgorithmus für die Importfunktionalität wurde zu Teilen aus dem Importmodul der Version 1 übernommen und an die neue Umgebung sowie die neue Datenstruktur angepasst. Die Funktionalität wurde jedoch insbesondere hinsichtlich Bedienungsfreundlichkeit und Datenvalidierung erheblich erweitert.

Eine umfassende Validierung der Daten bereits beim Import wurde notwendig, da im Gegensatz zum Import der VOCDB 1.0 Daten die Daten diesmal über einen längeren Zeitraum anfielen. Dadurch musste sichergestellt werden, dass bereits erfasste Daten nicht durch einen Import neuer oder erweiterter Daten korruptiert wurden. Dies lag auch daran, dass die Institute das Erfassen über einen längeren Zeitraum unterschiedlich handhabten. Einige verwendeten über den gesamten Zeitraum die gleiche Instanz des Erfassungs-Tools und fügten lediglich neue Daten hinzu, während andere für jede Lieferung von Daten neue Kopien des Erfassungs-Tools verwendeten.

Um die Datenvalidierung während der Importphase zu realisieren, wurden die Daten zuerst in temporäre Tabellen importiert. Hierbei konnten bereits Fehler beim Auslesen des Erfassungs-Tools abgefangen werden. Auf den temporären Tabellen konnten dann umfangreiche Validierungen und Konsistenzprüfungen durchgeführt werden, bevor die Daten in den finalen Datenpool übernommen wurden.

Überprüft wurden insbesondere die referenzielle Integrität der Daten, Existenz bereits vorhandener Daten zur Vermeidung von Duplikaten sowie auffällige Messwerte und mögliche Stoffduplikate. Das einfach gestaltete Userinterface zum Import der Daten ist in Abbildung 4 wiedergegeben.

VOC/DB 2.0 - [VOCDB 2.0 - Import]

Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Datengätze Extras Fenster Import Access Adgbe PDF

Auswertung Daten Stoffe Admin

Alle temporären Daten löschen → Import aus Excel Erfassungs-Tool in temporäre Tabellen (Stofffilter: 1702) → Cache temporäre Daten → Temporäre Daten testen → Temporäre Daten in Stammdaten übernehmen → Alle temporären Daten löschen

Filefilter: 0

Alte Daten Löschen

Meldung:

OK: RefIntegrität bei Methoden
 OK: RefIntegrität bei Mitarbeiter
 OK: RefIntegrität bei QSVerfahren
 OK: RefIntegrität bei Zusatzinfos
 OK: RefIntegrität bei Raum
 OK: RefIntegrität bei Messwert
 OK: RefIntegrität bei Messung
 OK: RefIntegrität bei Probenahme
 OK: RefIntegrität bei Stoff
 OK: RefIntegrität bei Stoffbezeichnung
 INFO: Duplikate in Institut (count = 1/1);
 INFO: Duplikate in Methode (count = 9/9);
 INFO: Duplikate in QsVerfahren (count = 3/3);

Probleme mit Duplikate in Raum (count = 3/3):
 SELECT count(*) FROM tmpRaum WHERE RaumID IN (SELECT RaumID FROM Raum)

Probleme mit Duplikate in Zusatzinfo (count = 3/3):
 SELECT count(*) FROM tmpZusatzinfo WHERE ZusatzinfoID IN (SELECT ZusatzinfoID FROM Zusatzinfo)

Probleme mit Duplikate in Probenahme (count = 9/9):
 SELECT count(*) FROM tmpProbenahme WHERE ProbenahmeID IN (SELECT ProbenahmeID FROM Probenahme)

Probleme mit Duplikate in Messung (count = 9/9):
 SELECT count(*) FROM tmpMessung WHERE MessungID IN (SELECT MessungID FROM Messung)

Probleme mit Duplikate in Stoffbezeichnung (count = 6/6):
 SELECT count(*) FROM tmpStoffbezeichnung WHERE StoffbezeichnungID IN (SELECT StoffbezeichnungID FROM Stoffbezeichnung)

OK: Stoffbezeichnung Duplikat mit unterschiedlichem Namen
 OK: Duplikate in Stoff

Probleme mit Messwerte für bereits importierte Messungen (count = 963/963):
 SELECT count(*) FROM TmpMesswert INNER JOIN Messung ON TmpMesswert.MessungFk = Messung.MessungID

Probleme mit Existieren Messwerte für neue Messungen (count = 963/960661):
 SELECT count(*) FROM Messwert INNER JOIN TmpMessung ON Messwert.MessungFk = TmpMessung.MessungID

OK: Messwertduplikate mit gleichem ZI, Qs und Stoff in TEMPORÄREN Daten

Probleme mit Messwertduplikate mit gleichem ZI, Qs und Stoff in EXISTIERENDEN Daten (count = 3):
 SELECT count(*) FROM (SELECT vockennung FROM (SELECT mw.ZusatzinfoFk, mw.QsVerfahrenFk, mw.Stofffk, zi.Vockennung FROM (Zusatzinfo AS zi INNER JOIN Messwert AS mw ON zi.ZusatzinfoId = mw.ZusatzinfoFk) INNER JOIN TmpMesswert AS tmpMw ON (mw.Stofffk = tmpMw.Stofffk) AND (mw.QsVerfahrenFk = tmpMw.QsVerfahrenFk) AND (mw.ZusatzinfoFk = tmpMw.ZusatzinfoFk) GROUP BY mw.ZusatzinfoFk, mw.QsVerfahrenFk, mw.Stofffk, zi.Vockennung) as t GROUP BY vockennung) as s

Formularansicht NF

Abbildung 4 Userinterface für den Importworkflow (hier mit Meldungen zum Test von temporären Daten, beim Versuch diese ohne vorheriges Löschen bereits importierter Daten erneut zu erfassen).

3.3.2 Editieren von Daten

Ziel der Editierfunktion war es, gewisse Daten auch nach dem Import noch leicht durch weniger erfahrene Nutzer anpassen zu können. Dies kann notwendig werden, wenn nachträglich Fehler in den Daten gefunden werden oder wenn Stoffdaten aktualisiert werden müssen.

Im Zuge des Projektes wurde entschieden, dass diese Funktionalität nicht für alle Daten, sondern lediglich für die Stoffdaten sowie für die Messwerte zur Verfügung gestellt werden sollte, da der Aufwand den Nutzen bei den anderen Daten wie Methoden und Verfahren sowie Zusatzinformationen nicht gerechtfertigt hätte. Dies bedeutet jedoch nicht, dass insbesondere Zusatzinformationen nicht nachträglich nach dem Import bei Bekanntwerden von Fehlern noch verändert wurden und werden, sondern dass diese Änderungen direkt in den zugrunde liegenden Tabellen durchgeführt werden müssen.

Als Beispiel für die Editierfunktion ist in Abbildung 5 das Editieren eines Einzelstoffes dargestellt.

The screenshot shows the 'Stoffe bearbeiten' dialog box in the VOC/DB 2.0 application. The main window displays search criteria: CAS: 112-40-3, Name: n-Dodecan, Stoffgruppe: Alkane. The dialog box contains the following fields and options:

- CAS:** 112-40-3
- Hauptname:** n-Dodecan
- AGÖF-Orientierungswerte 2007:**
 - Normalwert: 2,0
 - Auffälligkeitswert: 16,0
 - Orientierungswert: 16
- Stoffgruppe:** Alkane
- Reihenfolge in SG:** 130
- interne Systematik:** n- und iso-Alkane
- Hauptstoff-CAS:** (empty)
- Hauptstoff-Name:** (empty)
- Institut:** AGÖF
- Importiert am:** 04.11.2006 01:26:05
- Import:** TestImporteur
- Erstellung:** (empty)
- Änderung:** (empty)
- Version:** 1

On the right side of the dialog, a table shows the version history for the substance:

	seit	Version
n-Dodekan / und iso...	1	1
n-Dodekan u. Isome...	1	1
C12-Dodekan	1	1
n-Dodecan	1	1
n-Dodekan	1	1
Dodecan	1	1
1-Dodecan	1	1
C12-Dodekan	1	2

Abbildung 5 Formular zum Editieren von Einzelstoffen (hier n-Dodecan).

3.3.3 Auswerten von Daten

Das Userinterface bietet unterschiedliche Funktionalitäten zur Auswertung der erfassten Daten. Einige einfache Auswertungen greifen dabei auf im Tool integrierte Abfragen direkt zurück, die über das Menü erreichbar sind. Hierbei handelt es sich einerseits um einfache statistische Auswertungen zu den Zusatzinformationen als auch zu Messwerten. Des

Weiteren stehen einige Abfragen zur Verfügung, um die Datenqualität zu überprüfen, die unter dem Menüpunkt Datacleaning zusammengefasst wurden.

Der Kern der Auswertungsfunktionalität ist jedoch eine Abfragemaske (Abbildung 6) zur automatischen Erstellung von Kennwerten und zur Filterung und Aufbereitung der den Kennwerten zugrundeliegenden Einzeldaten, die dann auch für weitere statistische Auswertungen in externen Statistiktools verwendet werden können.

Hierbei können Filter auf allen relevanten Eigenschaften von Zusatzinformationen, Räumen, Stoffzuordnungen und anderen Informationen definiert und miteinander kombiniert werden, um so die genaue Grundgesamtheit der zu bewertenden Daten zu definieren und aus diesen statistische Kennwerte zur Verteilung von Messwerten und Bestimmungsgrenzen zu berechnen.

Durch Verwendung der Filterfunktionalität lassen sich so mit geringem Aufwand Kennwerte zu bestimmten Stoffen, Stoffgruppen, Gebäudetypen, Raumausstattungen oder sonstigen Bedingungen errechnen und mit Kennwerten anderer Grundgesamtheiten vergleichen. Auch Vergleiche mit bestehenden Richt- oder Orientierungswerten oder auch mit nutzerdefinierten Konzentrationsleveln können durchgeführt werden. Zudem können die so gefilterten und aufbereiteten Messdaten verwendet werden, um z.B. Korrelationsanalysen mittels externer Statistiktools durchzuführen und somit Untersuchungen zu Stoffkonzentrationen in Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen durchzuführen.

The screenshot shows the VOC/DB 2.0 software interface. The main window is titled "VOC/DB 2.0 - [Frm_Pivot : Formular]". It features a menu bar with options like "Datei", "Bearbeiten", "Ansicht", "Einfügen", "Format", "Datengänge", "Extras", "Fenster", "Import Access", and "Adgbe PDF". Below the menu is a toolbar with "Auswertung", "Daten", "Stoffe", and "Admin" buttons.

The interface is divided into several sections:

- Berechnen:** A button to start the calculation process.
- Filter:** A section with tabs for "Raum", "Gebäude", "Stoffe", "Probenahme", "Sonstige", and "Ansicht". It contains multiple filter categories:
 - Raumnutzung:** Wohnraum, Büroraum, Klassenraum, Gruppenraum, Flur/Werkstattfläche, Nebenraum, Veranstaltungsraum/H. Öffentlicher Raum.
 - Decke:** Putz/Farbe, Dekorplatte, Akustikplatte, Tapete: Papier/Raufas, Tapete: Kunststoff, Holzverkleidung.
 - Wand:** Putz/Farbe, Tapete: Papier/Raufas, Tapete: Kunststoff, Holzverkleidung, Fliesen.
 - Renovierung:** Wände/Decken, Fußboden, Belag, Unterboden, Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen, Neue Produkte/Möbel, keine in den letzten 5 Jahren dem Nutzer unbekannt.
 - Renovierung Wan:** vor weniger als 3 Wochen, vor 3 bis 6 Wochen, vor 6 Wochen bis 3 Monaten, vor 3 bis 6 Monaten, vor 1 bis 2 Jahren, vor 2 bis 5 Jahren.
 - Fußboden:** Teppichboden, verklebt, Teppichboden, nicht v., Kunststoffbelag, Linoleum, Laminat, Vollholz (z.B. Parkett), Kork, Fliesen, Beschichtung.
 - Belüftung:** Fensterlüftung, Abluftanlage, Zu-/Abluftanlage; Zulu, Zu-/Abluftanlage; Ablu, Klimatisierung.
- Progress:** ENDE berechnen ...
- Messwerte:** A table showing measurement values for various substances. The table has columns for "Zusatzinfo", "100-18-5", "100-41-4", "100-42-5", and "100".
- Kennwerte:** A table showing key values for various substances. The table has columns for "71-43-2", "108-88-3", "100-41-4", "1330-20-7", "95-47-6", "103-65-1", and "98-82-8".
- Zusatzinfos:** A table showing additional information for various substances. The table has columns for "Zusatzinf", "PLZ", "VocKennun", "ZielText", and "AnlassAn".

At the bottom of the interface, there is a "Kopieren" button and a status bar showing "Formularansicht" and "NF".

Abbildung 6 Kennwertauswertung sowie Messwert- und Zusatzinfobereitstellung für eine nach Raumeigenschaften und Stoffen (hier nicht sichtbar) gefilterte Anfrage.

3.4 Import der Daten von VOCDB 1.0

Die meisten Abfragen und Auswertungen für das vorliegende Projekt wurden auf Grundlage der für VOCDB 2.0 erhobenen Daten durchgeführt. Zur Betrachtung von Zeitreihen, wie z.B. der Veränderung der Kennwerte bestimmter Stoffe über die Jahre, ist es jedoch wichtig, auch weiter zurückliegende Daten mit auszuwerten.

Zu diesem Zweck wurden die Daten der VOCDB 1.0 ebenfalls in die VOCDB 2.0 importiert. Dabei wurde versucht, die in Version 1 erfassten Zusatzinformationen auf die Kategorien der Version 2 abzubilden. Dort, wo dies aufgrund fehlender oder nicht eindeutiger Daten nicht möglich war, erfolgte die Zuordnung zu einer Sammelkategorie für alle nicht abbildbaren Daten.

Für alle Datentypen und insbesondere für alle Messwerte wurde die Versionsnummer mit gespeichert. So lassen sich einfach Filter definieren, um z.B. nur die Daten der Version 2 herauszufiltern, wie dies auch die Standardeinstellung für die Auswertemaske des Userinterfaces (siehe Kapitel 3.3.3) ist.

4. Statistische Auswertung

Die Grafische Darstellung der Daten erfolgte mit Microsoft Office Excel 2007 mit Ausnahme der BoxPlots, die mit Statistica Version 8 (StatSoft) erstellt wurden. Für die grafische Darstellung der BoxPlots wurden entweder das 25. Percentil, der Median, das 75. Percentil und als Whisker der Non-Outlier-Range (das 1,5-fache des Quartilabstandes außerhalb dieses Intervalls) oder das 90. Percentil angegeben. Welche Darstellung verwendet wurde, ist in der jeweiligen Grafik angegeben.

Daten wurden auf Normalverteilung und Varianzhomogenität mit dem Kolmogorov-Smirnoff-Test und dem Lilliefors-Test überprüft. Die Daten erfüllten nicht die Voraussetzungen für parametrische Tests. Deshalb wurde zum Vergleich von Gruppen ein nicht-parametrischer Test, der Mann-Whitney-U-Test, angewendet. Zur Analyse von Korrelationen wurde der Spearman-Korrelations-Test verwendet. Mann-Whitney-U-Test und Spearman-Korrelationen wurden mit Statistica Version 8 (StatSoft) berechnet.

Zur grafischen Darstellung von Gebäudeeigenschaften und Stoffkonzentrationen ausgewählter Stoffe für Teil B wurde eine Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) in Kapitel 14.7 mit dem Programm CANOCO 4.5 (von Cajo J. F. ter Braack, Universität Wageningen) erstellt. Die Datensätze wurden untransformiert einer Voranalyse unterzogen und die ZI 2402Z001, 2402Z002 und 2402Z002 aus der Analyse entfernt, da sie starke Ausreißer aufwiesen. Kurz zum Verfahren einer CCA: Stoffkonzentrationen und Gebäudefaktoren werden in einem n-dimensionalen Raum aufgetragen, wobei jeder Faktor eine eigene Achse und damit eine eigene Dimension hat. Die größte Ausdehnung der n-dimensionalen Punktwolke ergibt die Achse 1, die darauf folgende größte Ausdehnung der Punktwolke, orthogonal zu Achse 1, ergibt die Achse 2. Diese beiden Achsen wurden grafisch dargestellt und bilden den größten Gradienten innerhalb des Datensatzes ab.

Teil A Gesamtanalyse aller VOC-DB 2.0 Daten

5. Beteiligte Institute

Es beteiligten sich 16 AGÖF-Institute an der Bereitstellung von Daten für die Studie. Da von einigen Instituten Laborleistungen an Labore (überwiegend AGÖF-Labore) vergeben wurden, entspricht die Zahl der beteiligten Institute nicht der Zahl der beteiligten Labore. Die Messung der Stoffe wurde von 13 Laboren durchgeführt. Zu allen Probenahmen, die zu einem Zeitpunkt an einem Ort gemessen wurden, liegen Zusatzinformationen (ZI) vor, die von den Instituten bereitgestellt wurden. Die erhobenen ZI sind im Anhang Teil A aufgeführt. Insgesamt wurden 4846 ZI-Datensätze in die Datenbank eingepflegt.

Die Datenbasis wird - bezogen auf die Anzahl an ZI-Datensätzen pro Institut - dominiert von einem Hauptdatenlieferanten mit 2006 ZI-Datensätzen, gefolgt von zwei Lieferanten mit 640 und 615 ZI-Datensätzen (Abbildung 7). Sechs Institute lieferten Datensatzmengen in der Größenordnung 100 bis 300 ZI-Datensätze, drei Institute 50 bis 99 Datensätze, vier Institute weniger als 50 ZI-Datensätze.

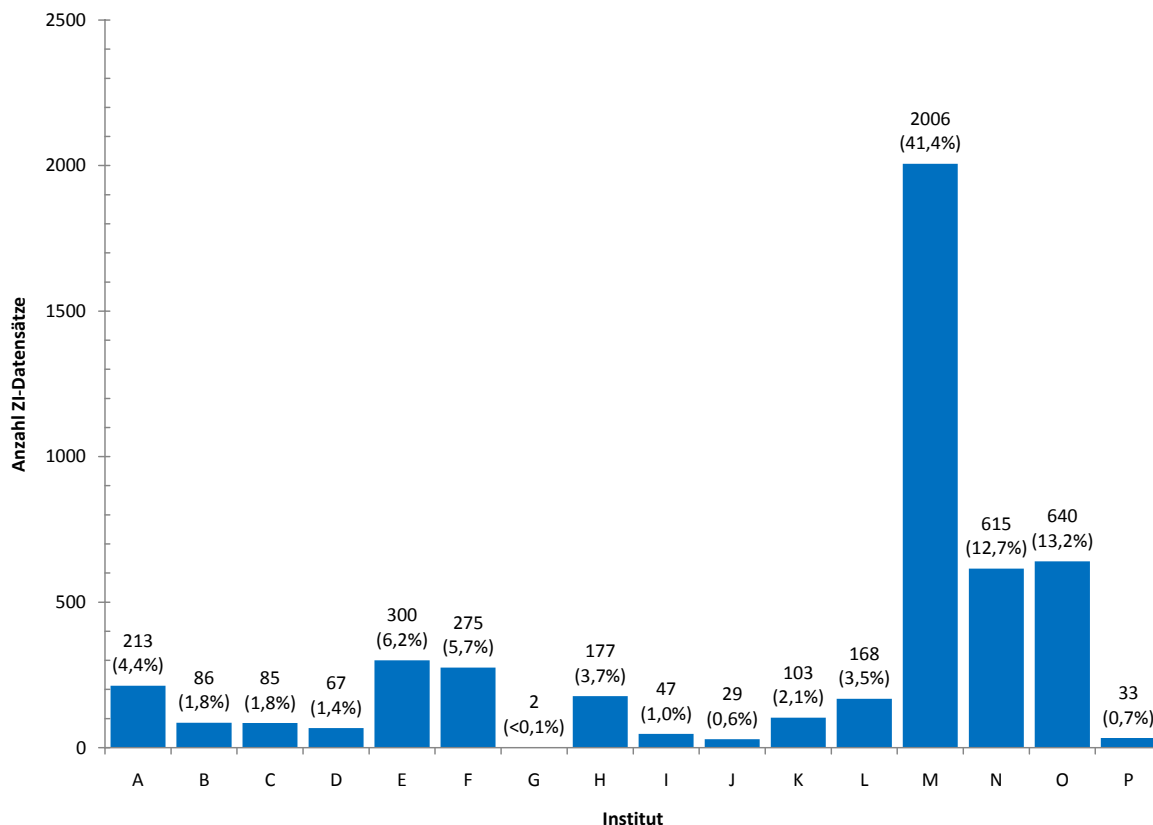


Abbildung 7 Anzahl aller gelieferten ZI-Datensätze pro Institut.

6. Zusatzinformationen

Die Angaben des Tabellenblatts „Zusatzinformationen“ wurden in Pflichtangaben und optionale Angaben unterteilt (siehe Anhang Teil A). Insgesamt konnten von den beteiligten Instituten zu 25 Zusatzinformationen Angaben gemacht werden, davon 16 Pflichtangaben (P), und davon wiederum wurden 8 erst ab 2011 Pflichtangaben (P ab 2011). Neun Zusatzinfor-

mationen waren optionale Angaben (F). Bei einigen Angaben waren Mehrfachnennungen möglich (M).

Zusatzinformationen zum Auftrag: Anlass der Untersuchung (PM)

Zusatzinformationen zum Gebäude: PLZ (P), Gebäudenutzung (P), Anzahl Geschosse (P ab 2011), Bauweise (P ab 2011), Baujahr (F), falls modernisiert wurde (P), die Art der Modernisierung (F) und das Jahr (F), Qualitätsmerkmale zum Energiestandard (F)

Zusatzinformationen zum Raum: Raumnutzung (P), Art der Belüftung (P), Fußbodenbelag (P ab 2011), Wände (P ab 2011), Decke (P ab 2011) und letzte relevante Innenraumrenovierung (P ab 2011) inkl. Zeitpunkt (P ab 2011, M)

Zusatzinformationen zu den Probennahmebedingungen: Untersuchungsziel (PM), Lüftungssituation (P), Raumsituation (Raucherzimmer (F), auffällige Gerüche (F), Baufeuchte (F), Schimmel (F), Möblierung (F), Anzahl Personen im Raum (P ab 2011)

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

6.1 Angaben zum Auftrag

6.1.1 Anlässe

Bei den sechs Kategorien für den Anlass konnten Mehrfachnennungen auftreten. Bei 1612 ZI-Datensätzen wurden mehrere Angaben über den Anlass der Probennahme gemacht. Es wurden bis zu vier Anlässe gleichzeitig angegeben. Tabelle 1 schlüsselt die Kombinationen von Anlässen und deren Häufigkeit auf. Die meisten Mehrfachnennungen enthielten Geruch, Gesundheitsbeschwerden oder Expositionsverdacht als Anlass. Für vier ZI-Datensätze lagen keine Angaben zum Anlass vor.

Tabelle 1 Anzahl der ZI und der Anlässe mit Einfach- und Mehrfachnennungen für die entsprechende Untersuchung.

		Anlass A					
		Gerüche	Gesundheitsbeschwerden	Expositionsverdacht	Abnahme	AGÖF-Projekt	Anderer Anlass
Anlass B	Gerüche	533					
	Gesundheitsbeschwerden	833	600				
	Expositionsverdacht	146	153	994			
	Abnahme	19	5	195	730		
	AGÖF-Projekt					96	
	Anderer Anlass	31	1	6	59	3	277
Anlass C							
Gerüche	Expositionsverdacht		125				1
	AGÖF-Projekt		1				
	Anderer Anlass		21				
Abnahme	Expositionsverdacht		6				2
	Expositionsverdacht und Gerüche		5				

Betrachtet man die Häufigkeiten der einzelnen Nennungen getrennt (Abbildung 8), dann wurden die drei Anlässe Gerüche, Gesundheitsbeschwerden und Expositionsverdacht etwa gleich häufig in ca. 1700 Fällen angegeben. Weniger häufig, bei 1021 ZI-Datensätzen, wurden Innenraumuntersuchungen auf Grund einer Abnahme durchgeführt. In 401 Fällen konnte der Anlass der Untersuchung keiner der vorgegebenen konkreten Kategorien zugeordnet werden und wurde unter ‚Anlass Anderer‘ verbucht. In diesen Fällen war eine Nennung in einem Textfeld erforderlich, die eine weitere Recherche zum Anlass der Probennahme in der Datenbank ermöglicht. Einhundert ZI-Datensätze wurden im Rahmen des „AGÖF-Projektes“ (Teil B des Vorhabens) erhoben.

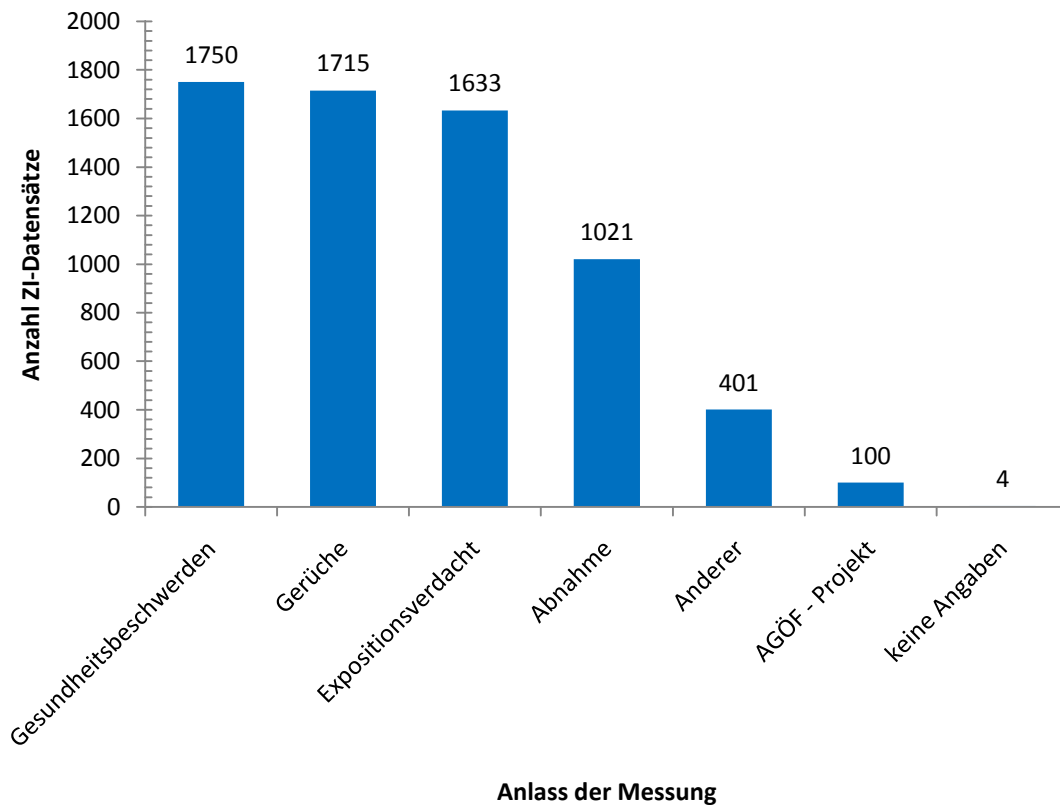


Abbildung 8 Anlass der Untersuchung. Angabe der Anzahl der ZI-Datensätze pro Anlass (Nennungen getrennt).

6.2 Angaben zum Gebäude

6.2.1 Ort (PLZ)

Die ZI-Datensätze verteilten sich sehr ungleichmäßig auf die Postleitzahlenbereiche der BRD. Aufgrund der bei Aktivmessungen üblicherweise gegebenen Nähe zum Sitz des probenehmenden Instituts dominierten die PLZ-Bereiche der Institute mit hohen Datensatzanzahlen.

Abbildung 9 zeigt die Verteilung der ZI-Datensätze auf die PLZ-Bereiche. Der Bereich 2 war deutlich überrepräsentiert, gefolgt von den Bereichen 5 und 8. Diese drei PLZ-Bereiche machten über 60 % der ZI-Datensätze aus.

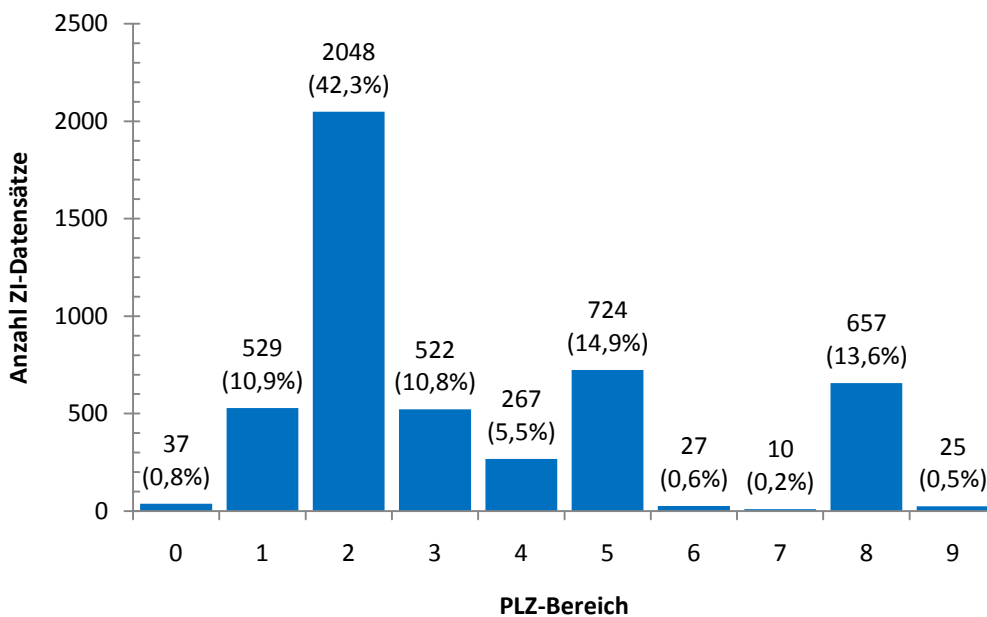


Abbildung 9 Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Postleitzahlenbereich.

6.2.2 Bauweise

Von den 5 vorgegebenen Kategorien (Abbildung 10 und Abbildung 11) kam die Bauweise „Massivbau Mauerwerk“ mit 1742 Nennungen am häufigsten vor. Danach folgten „Stahlbetonbau“ mit 650, „Stahlleichtbau“ mit 616, „Holztafelbau“ mit 238 und „Fertigteilbau“ mit 126 Nennungen. Das bedeutet, dass 2518 (52%) Nennungen in die Kategorie Massivbauweise fielen (Mauerwerksbau, Stahlbeton und Fertigteilbau) und 854 (18%) Nennungen in die Kategorie Leichtbau (Stahlleichtbau, Holztafelbau). In der Kategorie „Stahlleichtbau“ wurden auch „Containeranlagen“ erfasst. Von den 616 ZI-Datensätzen mit Bauweise Stahlleichtbauten gehörten 327 ZI-Datensätze zur Unterkategorie Container. Von diesen ZI-Datensätzen gehörten 182 zur Kategorie Container mit Baujahr vor 2002 und 145 nach 2002. Zu 1474 ZI-Datensätzen lagen keine Angaben über die Bauweise vor, da diese Angabe erst ab 01.01.2011 Pflicht wurde.

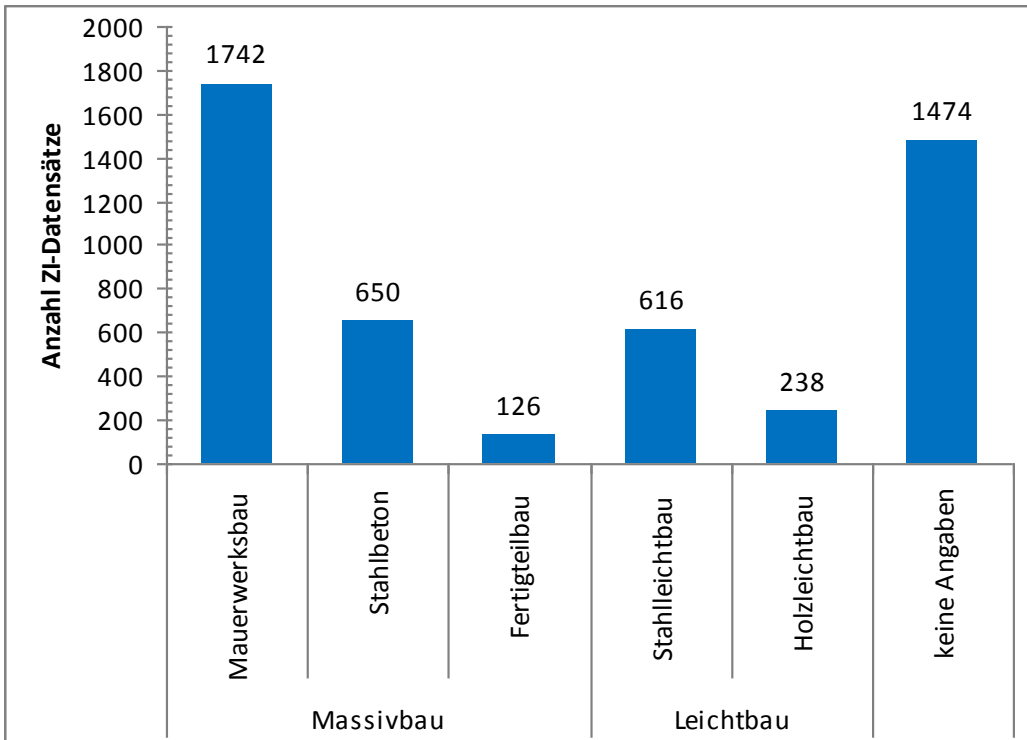


Abbildung 10 Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Bauweise.

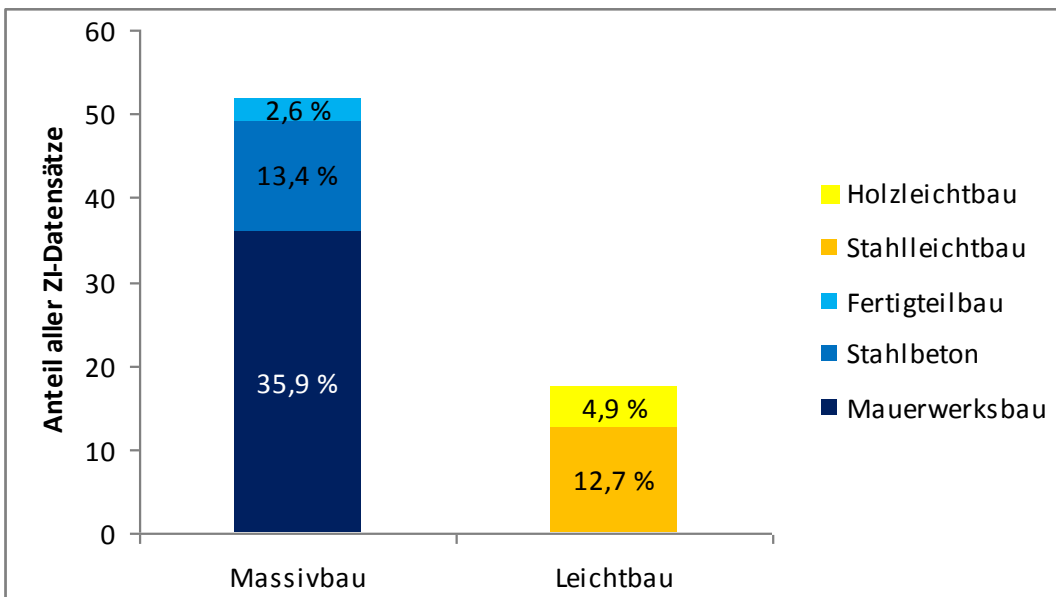


Abbildung 11 Prozentuale Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Bauweise bezogen auf die Gesamtzahl von 4846 ZI-Datensätzen. Zu 30,4% der ZI-Datensätze lagen keine Angaben vor.

6.2.3 Baualtersklasse

Die Angabe der Baualtersklasse war verpflichtend, allerdings lagen in 372 Fällen (8 %) keine Angaben vor. Die Baualtersklassen wurde auf der Grundlage der energetischen Klassifizierung von Wohngebäuden (siehe hierzu IWU) in zehn Zeitabschnitte mit unterschiedlich langen Zeitperioden untergliedert (Abbildung 12). Die Verteilung der erfassten Gebäude über die Baualtersklassen ist relativ homogen. Am häufigsten kamen ZI-Datensätze mit der Baualtersklasse ab 2007 (17%), 1969-1978 (15%), 1995-2001 (11%) und 1919-1948 (10%) vor. Alle anderen Baualtersklassen waren jeweils in weniger als 10% und mehr als 4 % der ZI-Datensätze vertreten.

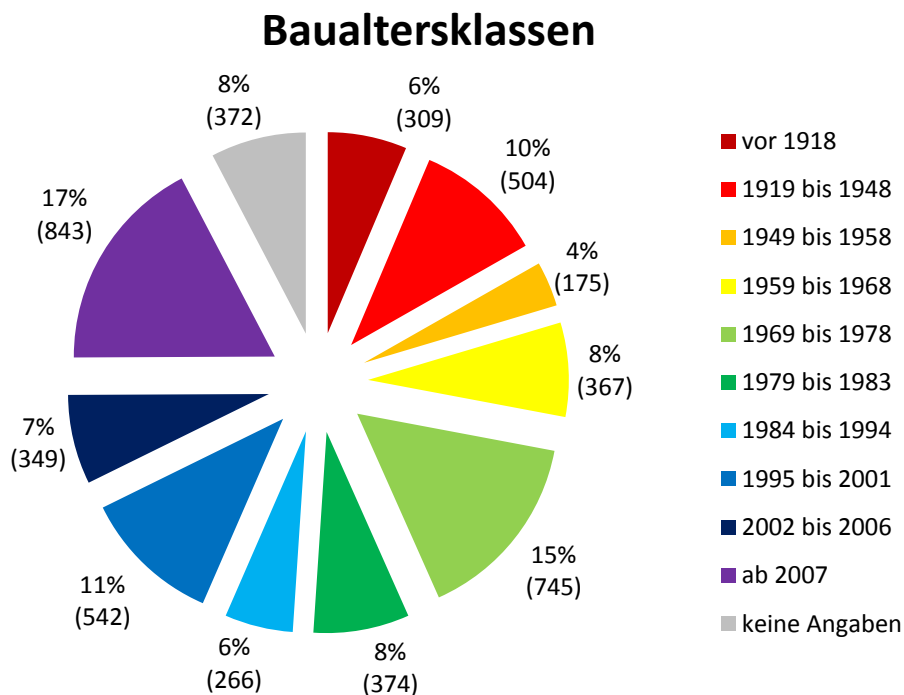


Abbildung 12 Prozentuale Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Altersklasse.

6.2.4 Modernisierung/Neubau

Ob eine Modernisierung stattgefunden hatte, war eine Pflichtangabe ab 2011. Angaben zum genauen Jahr und der Art der Modernisierung (Tabelle 2) waren freiwillig. Insgesamt 333 der ZI-Datensätze beinhalteten Gebäude, die modernisiert wurden, im Gegensatz zu 1633 ZI-Datensätzen mit Gebäuden ohne Modernisierung. Zu 2880 Datensätzen aus Messungen, die vor 2011 durchgeführt worden waren, lagen keine Angaben vor.

Tabelle 2 Angaben über die Anzahl und den Anteil von ZI-Datensätzen mit modernisierten Gebäuden.

	Anzahl ZI-Datensätze	% ZI-Datensätze
Modernisierung	333	6,9
keine Modernisierung	1633	33,7
keine Angaben	2880	59,4
Σ	4846	100

6.2.5 Nutzung

Innerhalb eines Gebäudes können Räume unterschiedlich genutzt werden. Deshalb war die Nennung der Nutzung eines Gebäudes eine Pflichtangabe mit der Möglichkeit zu Mehrfachnennungen. Eine ausführliche Liste der Mehrfachnennungen ist in Tabelle 3 dargestellt. Für insgesamt 186 ZI-Datensätze wurden Mehrfachnennungen angegeben. Für 638 ZI-Datensätze erfolgte keine Angabe zur Gebäudenutzung. Diese Datensätze waren trotz fehlender Zusatzinformationen aufgrund der umfangreichen Messwerte aufgenommen worden.

Tabelle 3 Anzahl der ZI pro Gebäudenutzung mit Ein- und Mehrfachnennungen.

		Gebäudenutzung A					
Gebäudenutzung B	1-2 Familienhaus	MFH	Büro/Verwaltung	Handel/Dienstleistung	Kindergarten	Schule/Bildungsbau	keine Angaben
1-2 Familienhaus	813						
MFH		612					
Büro/Verwaltung			1421				
Handel/Dienstleistung			96	170			
Kindergarten					97		
Schule/Bildungsbau			39	2	49	909	
keine Angaben							638
Σ	813	612	1556	172	146	909	638

Für die in Abbildung 13 dargestellten Angaben wurde bei Mehrfachnennungen die Hauptfunktion des Gebäudes betrachtet und einer der sechs Hauptkategorien zugeordnet. In den 49 Fällen, in denen ein Hort bzw. Kindergarten in eine Schule integriert war, wurde der Raum der Kategorie Schule zugeordnet.

Der dominierende Nutzungstyp in den ZI-Datensätzen war Büro/Verwaltung mit 1421 Nennungen, gefolgt von Schulen und Bildungsbauten mit 909 Nennungen, 1-2 Familienhäuser mit 813 Nennungen und Mehrfamilienhäuser mit 612 Nennungen. Alle anderen Nutzungstypen waren nur in geringer Anzahl vertreten. Damit teilten sich die ZI-Datensätze, bei denen die Nutzung bekannt war, zu ca. 1/3 in jeweils Wohngebäude, pädagogische Einrichtungen und gewerblich genutzte Gebäude auf (Abbildung 13).

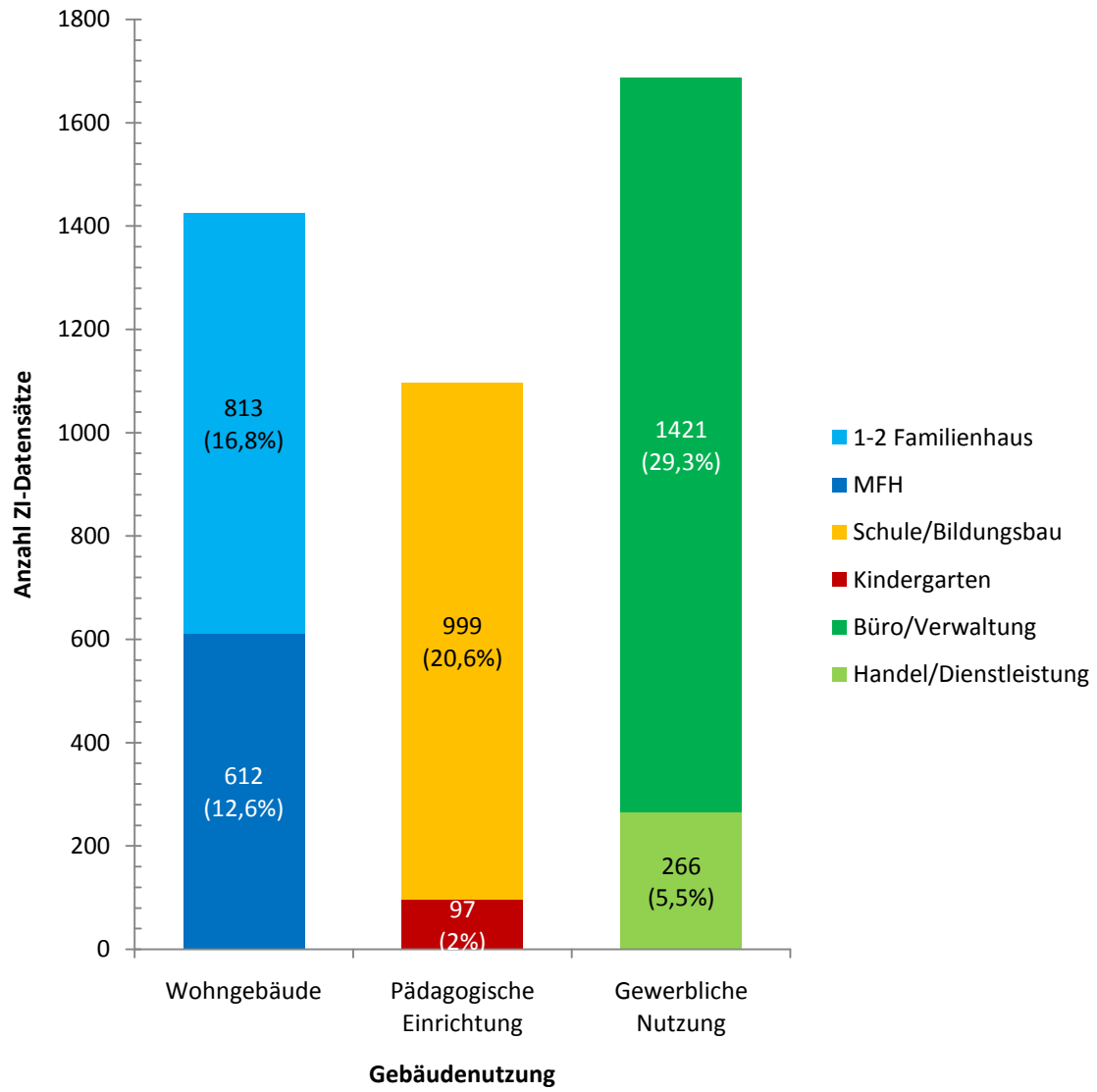


Abbildung 13 Anzahl der ZI pro Gebäudenutzung mit zusätzlicher Angabe des Anteils an allen ZI-Datensätzen in Klammern.

6.2.6 Anzahl der Geschosse

Die Anzahl der Geschosse war eine freiwillige Angabe, die für 3093 ZI-Datensätze vorlag (Abbildung 14). Am häufigsten waren in den ZI-Datensätzen Gebäude mit zwei bis drei Geschossen vertreten. Mit zunehmender Geschossanzahl sank die Anzahl der ZI-Datensätze kontinuierlich. Die maximale Geschosszahl lag bei 17.

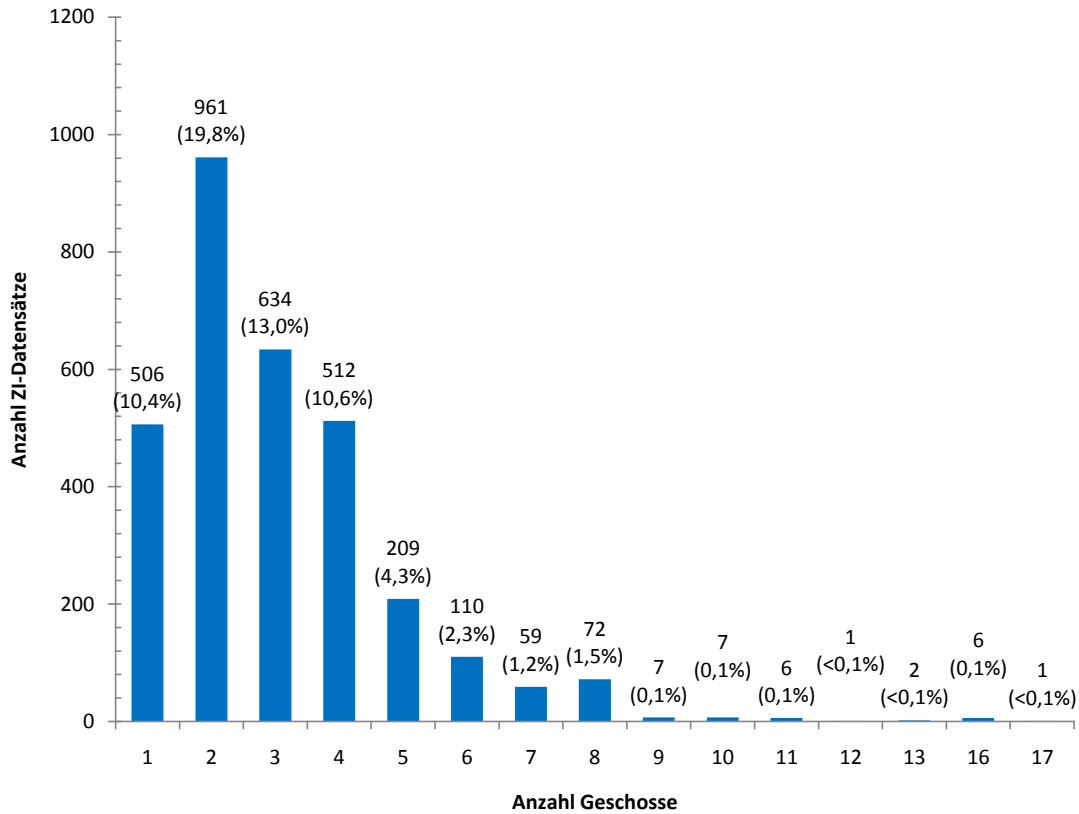


Abbildung 14 Anzahl ZI-Datensätze pro Anzahl Geschosse des Gebäudes mit zusätzlicher Angabe des Anteils an allen ZI-Datensätzen in Klammern.

6.3 Angaben zum Raum

Insgesamt wurden 4428 Räume untersucht. Einige Räume wurden mehrfach untersucht, so dass die Anzahl an ZI-Datensätzen - insgesamt 4846 – größer als die Anzahl der untersuchten Räume ist. 4148 Räume wurden einmal beprobt, zu ihnen gehörte jeweils ein ZI-Datensatz. Mehrfach beprobt wurden 280 Räume mit einer unterschiedlichen Anzahl an Duplikaten (siehe Tabelle 4). Die maximale Anzahl von zehn Duplikaten wies nur ein Raum auf. Für alle anderen Räume lag die Anzahl der Duplikate unter acht. Die Beschreibung der Raummerkmale bezieht sich auf die Räume unabhängig von den mehrfach beprobten Räumen und der Anzahl der ZI-Datensätze.

Tabelle 4 Anzahl der Räume, die ein- oder mehrfach beprobt wurden.

Anzahl Untersuchungen	Anzahl Räume
1	4148
2	204
3	46
4	14
5	6
6	7
7	2
10	1
Σ	4428

6.3.1 Raumnutzung

Im Pflichtfeld Raumnutzung bestand die Wahl zwischen 8 Nutzungstypen (Abbildung 15). Bei den Angaben zur Raumnutzung dominierten Büroräume mit 1781 Nennungen, gefolgt von Wohnräumen mit 1423 Nennungen. Deutlich weniger Nennungen gab es für Klassenzimmer, Gruppenräume, Veranstaltungsräume, Nebenräume und Flure/Verkehrsflächen.

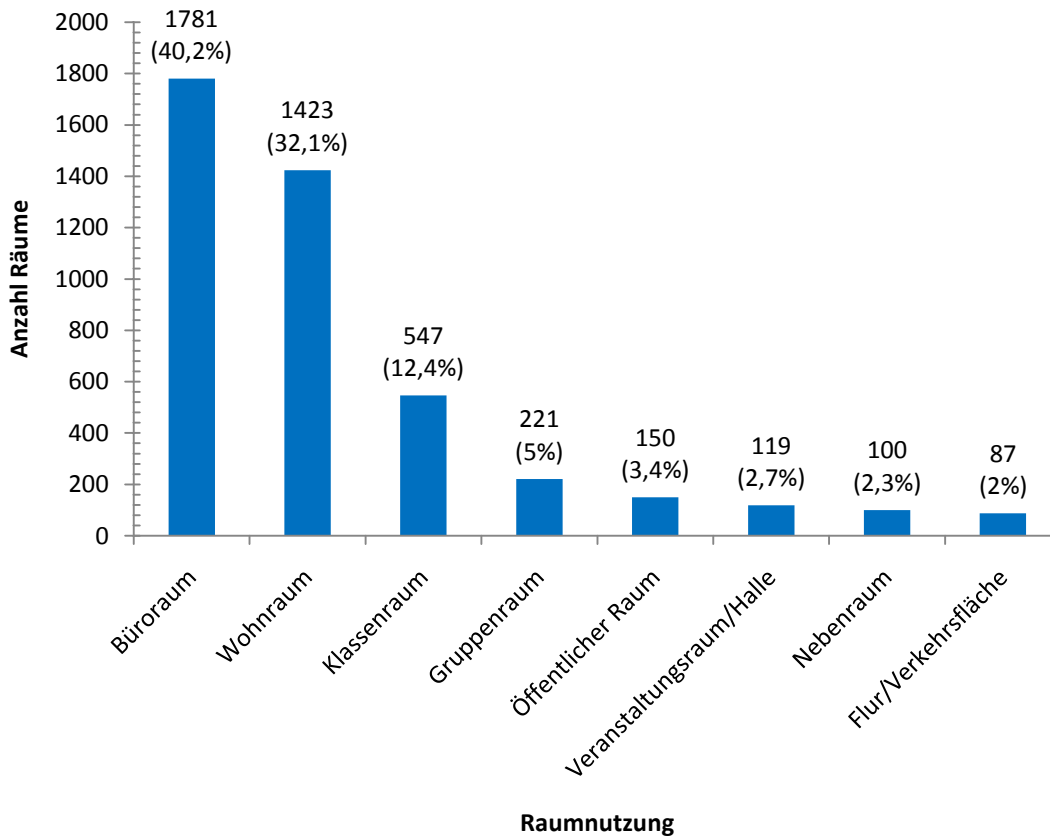


Abbildung 15 Anzahl der Räume je Nutzungstyp und zusätzliche Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.

6.3.2 Belüftung

Sofern es keine raumluftechnischen 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 Raumlufmessung in einem Zu- oder Abluftraum 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 (Tabelle 5). Nur 4 % der Räume verfügten über eine mechanische Lüftungsanlage und 2,2 % der Räume über Klimatisierung.

Tabelle 5 Anzahl und Anteil der Räume je Belüftungstyp.

Belüftung	Anzahl Räume	% Räume
Fensterlüftung	3520	79,5
Zu-/Abluftanlage; Zuluftraum	116	2,6
Klimatisierung	96	2,2
Abluftanlage	34	0,8
Zu-/Abluftanlage; Abluftraum	24	0,5
keine Angaben	638	14,4
Σ	4428	100

6.3.3 Fußbodenbelag

Angaben zum Fußbodenbelag wurden erst ab 2011 Pflichtangabe. Deshalb gibt es zu 35 % der Räume keine Angaben (Abbildung 16). In den Räumen, über die Angaben vorhanden sind, dominierten Kunststoffbeläge, gefolgt von Teppich (verklebt). In jeweils weniger als 326 Räumen befand sich Fußbodenbelag aus Vollholz, Teppich (nicht verklebt), Linoleum, Laminat, Fliesen, Beschichtung und Kork. Summiert man die Anzahl der Räume mit Teppichboden verklebt und nicht verklebt, so war Teppich die dominierende Form des Bodenbelags mit 1119 Nennungen.

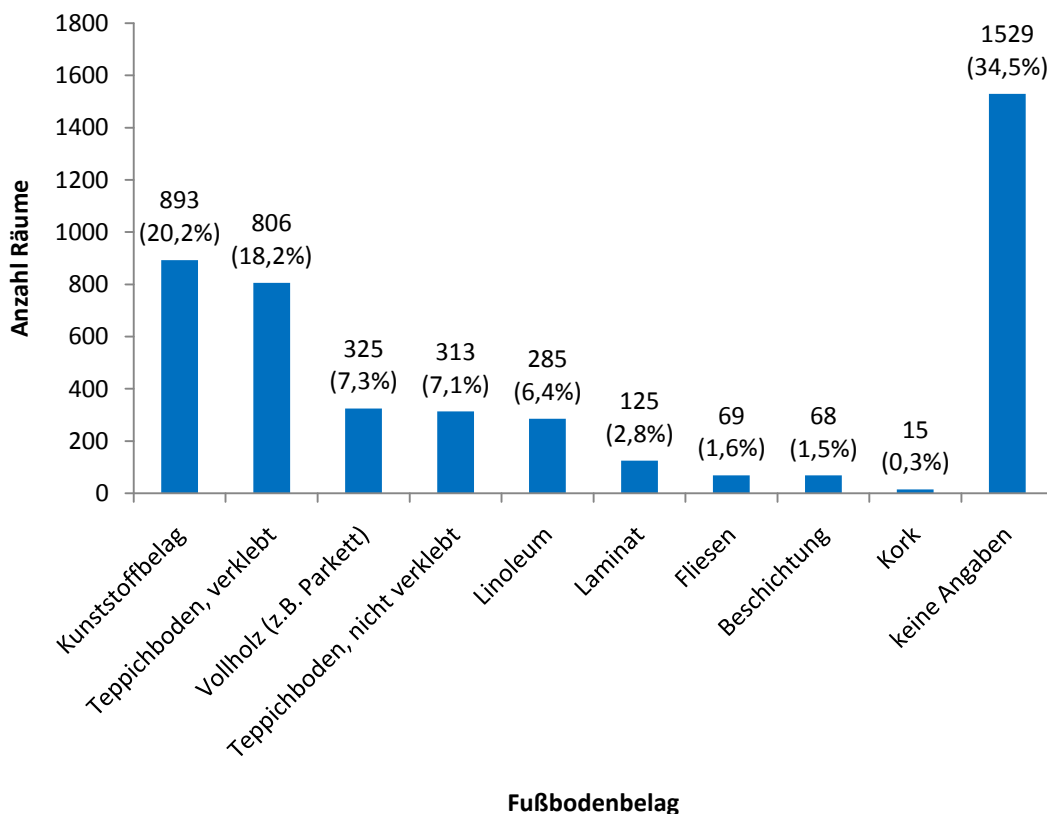


Abbildung 16 Anzahl der Räume mit dem jeweiligen Fußbodenbelag und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.

6.3.4 Wände

Ebenfalls ab 2011 war die dominierende Verkleidung der Wände eine Pflichtangabe. Zu 1599 Räumen lagen keine Angaben vor (Abbildung 17). Dominierend waren Putz/Farbe und Tapeten aus Papier/Raufaser. Seltener kamen Holzverkleidungen, Kunststofftapeten oder Fliesen vor.

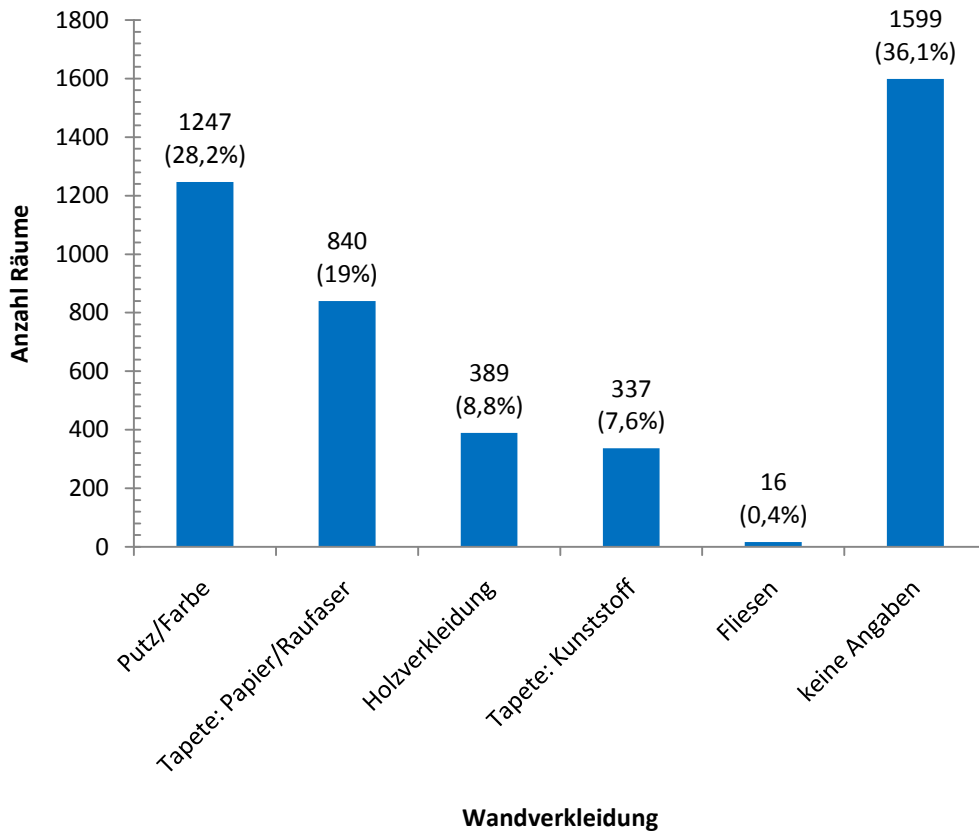


Abbildung 17 Anzahl der Räume mit Angabe der jeweiligen Art der Wandverkleidung und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.

6.3.5 Decke

Zu 1615 Räumen gab es keine Angaben zur Verarbeitung der Decke (Abbildung 18). Ab 2011 wurde diese Angabe Pflicht. Der Großteil der Räume hatte eine verputzte Decke. Sehr häufig waren Verkleidungen mit Akustikplatten.

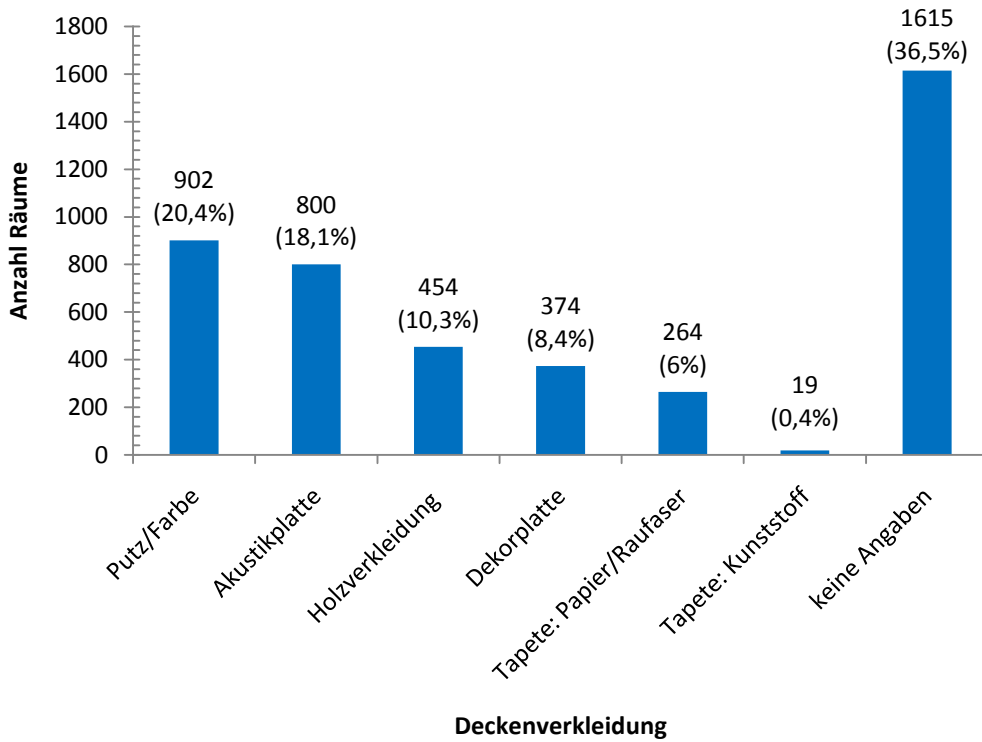


Abbildung 18 Anzahl der Räume mit Angabe der jeweiligen Art der Deckenverkleidung und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.

6.3.6 Innenraum-Renovierung

Für die ab 2011 als Pflichtangabe eingeführte Kategorie waren Mehrfachnennungen möglich. Zu 2020 von insgesamt 4428 Räumen gab es keine Angaben zur Renovierung. Für 889 Räume war die Durchführung einer Renovierung dem Nutzer nicht bekannt. In allen anderen Räumen (Abbildung 19) dominierte die Erneuerung des Fußbodens, gefolgt von Wände/Decke und Fußbodenbelag. Von den 709 Räumen, in denen der Fußboden renoviert wurde, wurden in 566 Fällen Angaben gemacht, dass es sich um die Renovierung des Fußbodenbelages handelte, und in 153 Fällen zusätzlich zum Fußbodenbelag der Unterboden renoviert wurde.

Eine genaue Aufschlüsselung der Mehrfachnennungen von Renovierungsmaßnahmen je untersuchtem Raum enthält Tabelle 6.

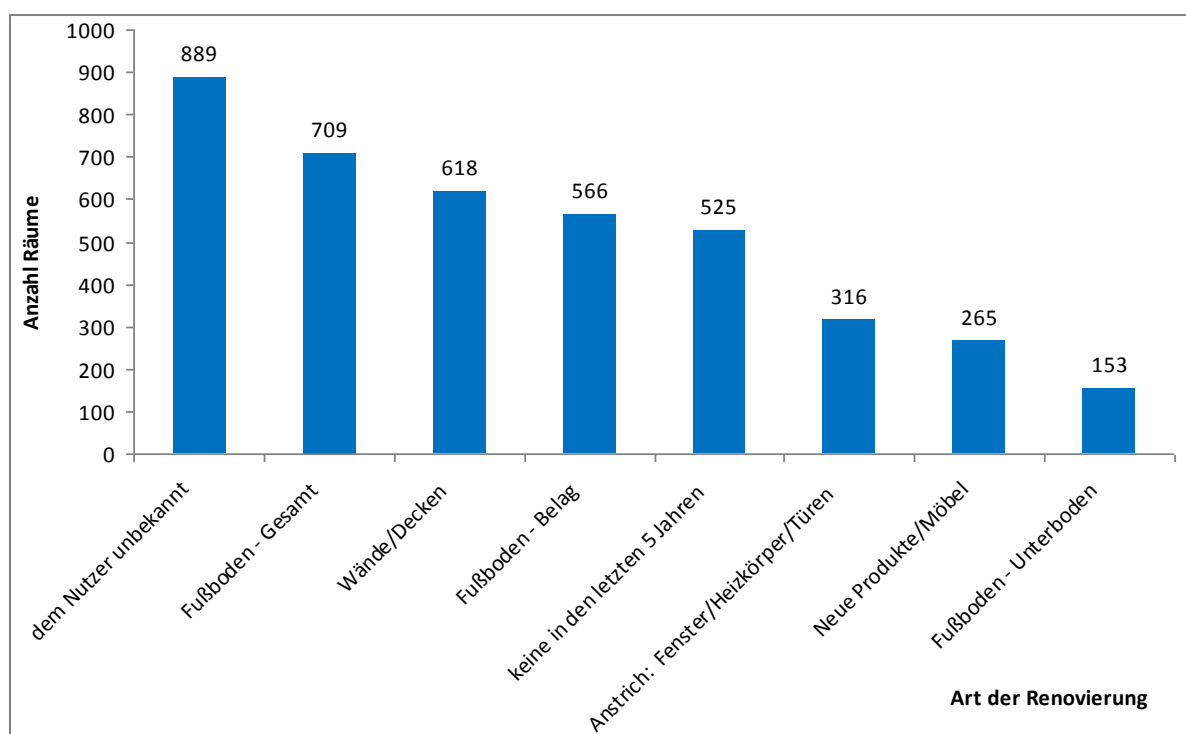


Abbildung 19 Anzahl der Art der Renovierung einzeln aufgelistet. Pro Raum konnten Mehrfachnennungen auftreten.

Tabelle 6 Anzahl der Räume unterteilt nach der Art der Renovierung mit Ein- und Mehrfachnennungen.

			Renovierung A						
Renovierung B			Wände/Decken	Fußboden	Belag	Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen	Neue Produkte/Möbel	keine in den letzten 5 Jahren	dem Nutzer unbekannt
Wände/Decken			154						
Fußboden			44	52					
Belag			18	153	8				
Unterboden				1	1				
Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen			23	7	5	36			
Neue Produkte/Möbel			9	3		26	34		
keine in den letzten 5 Jahren								525	
dem Nutzer unbekannt									889
Renovierung C									
Wände/Decken									
Belag				96					
Unterboden					1				
Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen				16	7				
Neue Produkte/Möbel				6	2	5			
Fußboden									
Unterboden				2	26				
Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen					5		7		
Renovierung D-F									
Belag									
Neue Produkte/Möbel				9		1			
Fußboden									
Belag									
Unterboden			20			1	3		
Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen			32						
Neue Produkte/Möbel			33						
Wände/Decken									
Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen							5		
Belag									
Wände/Decken									
Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen							1		
Fußboden; Wände/Decken									
Belag									
Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen							46		
Unterboden						23	5		
Fußboden; Wände/Decken; Neue Produkte/Möbel									
Belag									
Unterboden									70

Für 989 Räume gab es Angaben über die Zeit seit der letzten Renovierung (Abbildung 20) in Bezug zum Zeitpunkt der Probenahme. Die meisten Renovierungen lagen länger als ein Jahr zurück. Von 3439 Räumen und damit von 77,7 % aller Räume lagen keine Angaben zum Zeitraum seit der letzten Renovierung vor.

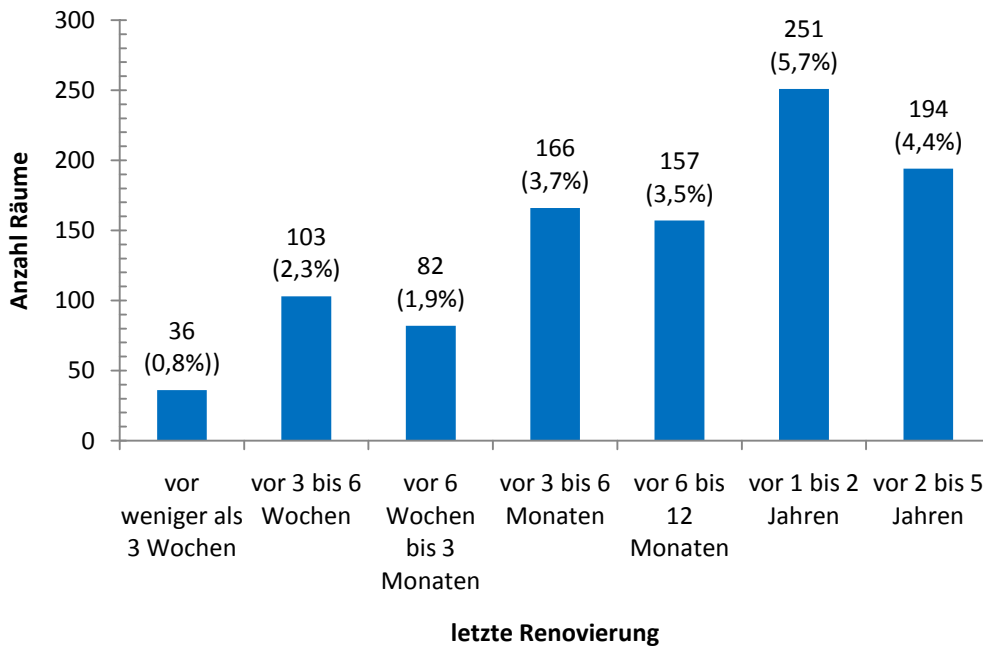


Abbildung 20 Anzahl der Räume und der Zeit seit der letzten Renovierung. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl aller Räume. Zu 3439 Räumen und damit von 77,7 % aller Räume liegen keine Angaben vor.

6.4 Angaben zur Probenahme

6.4.1 Zeitpunkt der Probenahme

Die Anzahl der ZI-Datensätze pro Jahr ist in Abbildung 21 aufgelistet. Die Datensätze verteilen sich – ohne dass hier entsprechende Vorgaben gemacht wurden – recht gleichmäßig auf die Jahre 2007 bis 2011. Zu Projektbeginn im Jahr 2006 und Projektende im Jahr 2012 war die Anzahl der gelieferten ZI-Datensätze geringer, da diese Jahre nicht vollständig in den Erfassungszeitraum eingingen. Die erste Probenahme fand am 10.01.2006 und die letzte am 05.10.2012 statt.

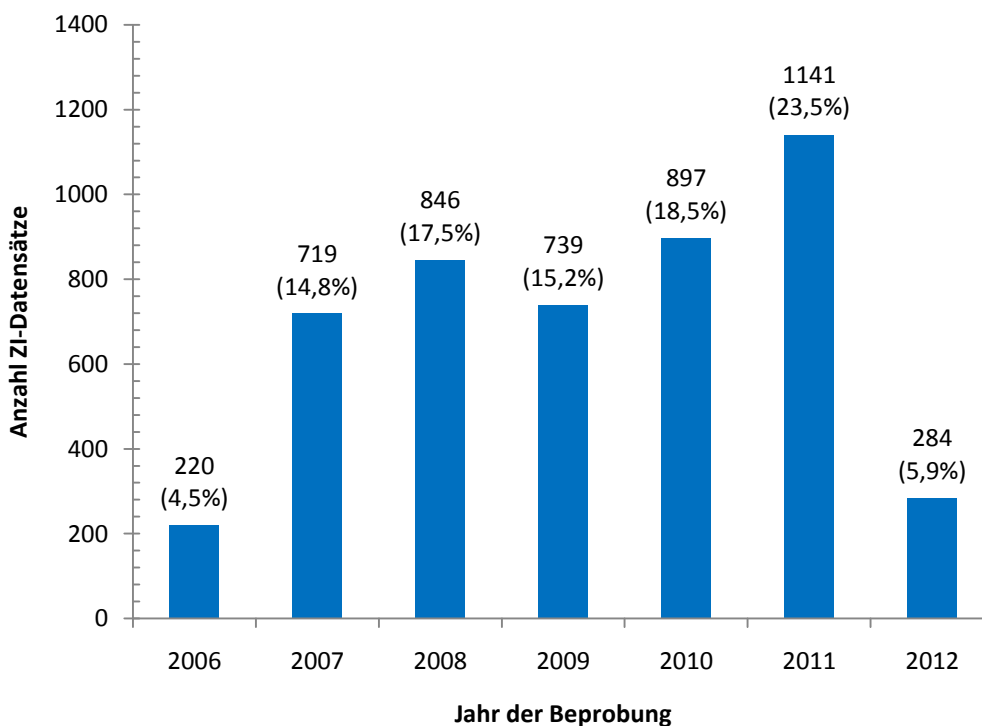


Abbildung 21 Anzahl und Anteil (in Klammern) der ZI-Datensätze pro Jahr.

Saisonale Schwankungen des Zeitpunktes der Probenahme waren für die Menge an ZI-Datensätzen pro Monat kaum zu beobachten (Abbildung 22). Sehr stark vertreten ist der Monat Oktober mit 761 Datensätzen, während die übrigen Monate mit 305 bis 458 Datensätzen vertreten sind.

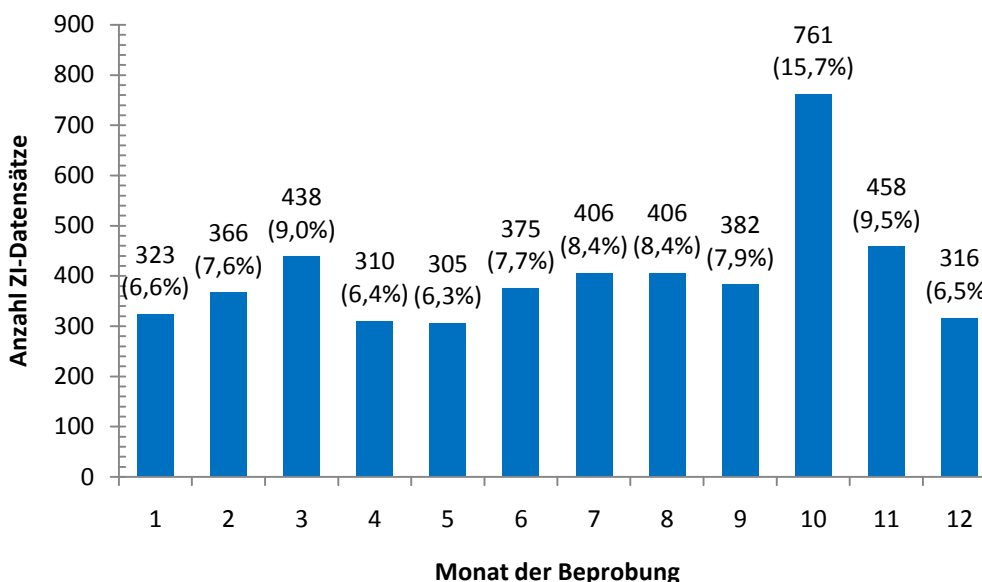


Abbildung 22 Anzahl und Anteil (in Klammern) der ZI-Datensätze pro Monat.

6.4.2 Untersuchungsziel

Beim Ziel der Untersuchung konnten Mehrfachnennungen getätigt werden. Deshalb kam es bei einer Anzahl von 4846 ZI-Datensätzen zu 5802 einzelnen Nennungen verschiedener

Untersuchungsziele (Tabelle 7, Abbildung 23), inklusive 368 ZI-Datensätzen ohne Angaben. Am häufigsten war das Ziel die Statusmessung, gefolgt von der Überprüfung von Richt- und Orientierungswerten (ROW). In 494 Fällen wurden Wiederholungsmessungen und in 471 Fällen Freigabemessungen durchgeführt. Freigabemessungen waren definiert als Messungen zur Überprüfung der Raumluftkonzentration nach einer Sanierung oder Entfernung einer Schadstoffquelle, um die Einhaltung von vereinbarten Sanierungszielen zu überprüfen (siehe hierzu auch die Erläuterungen zu den Zusatzinformationen im Anhang).

Tabelle 7 Anzahl der ZI-Datensätze unterteilt nach Untersuchungsziel. Zu 368 ZI-Datensätzen liegen keine Angaben vor.

Ziel B	Ziel A			
	Statusmessung	Einhaltung ROW	Wiederholungsmessung	Freigabemessung
Statusmessung	2635			
Einhaltung ROW	605	336		
Wiederholungsmessung	148	9	262	
Freigabemessung	38	4	14	362
Ziel B-D				
Statusmessung, Wiederholungsmessung		16		41
Statusmessung, Wiederholungsmessung, Freigabemessung		8		

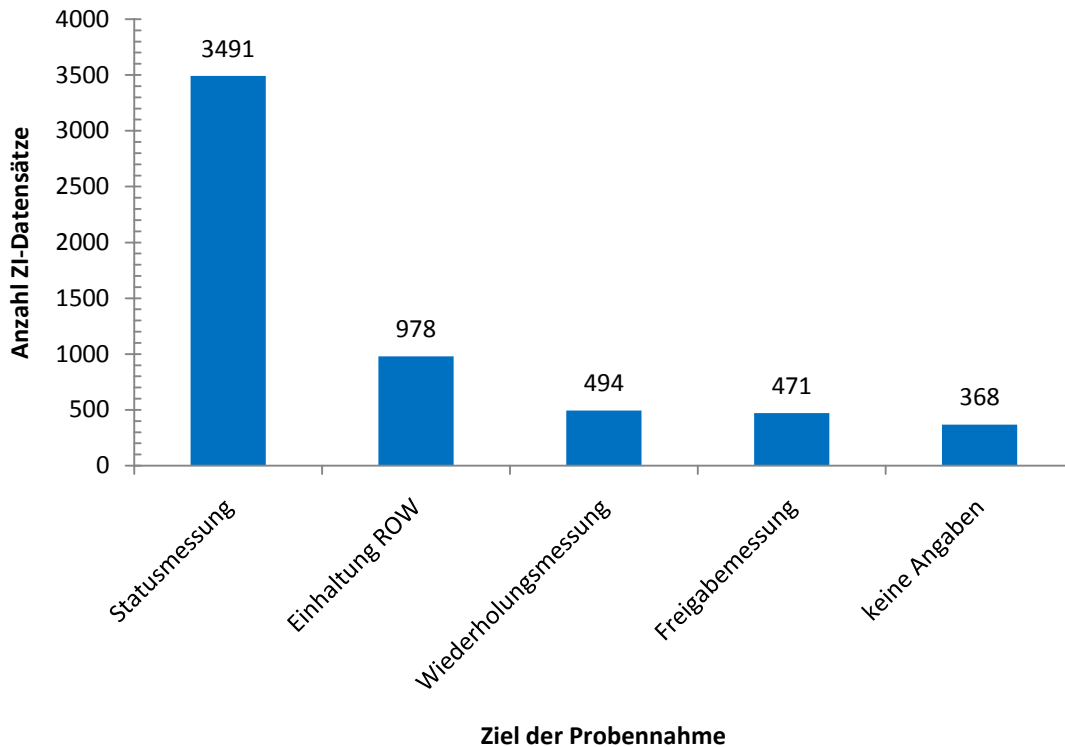


Abbildung 23 Anzahl der ZI-Datensätze unterteilt nach Untersuchungsziel.

6.4.3 Lüftungsbedingungen

Die Angabe der Lüftungssituation war Pflicht, und es konnte zwischen vier Bedingungen gewählt werden.

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

Am häufigsten, in 93,1 % der Fälle, wurde in Räumen gemessen, die seit mind. 8 Stunden ungelüftet waren. Nur ein geringer Anteil der ZI-Datensätze beinhaltet andere Lüftungsbedingungen, wie aus Tabelle 8 ersichtlich.

Tabelle 8 Anzahl und Anteil der ZI-Datensätze unterteilt nach Lüftungsbedingungen.

Lüftungsbedingung	Anzahl ZI-Datensätze	% ZI-Datensätze
mind. 8 h ungelüftet	4512	93,1
Nutzungssimulation	130	2,7
Nutzungsbedingungen RLT ein	192	4,0
Nutzungsbedingungen RLT aus	12	0,2
Σ	4846	100

6.4.4 Raumsituation

Angaben zur Raumsituation waren freiwillig, die Angabe zur Anzahl der Personen, die bei der Probennahme zugegen waren, war ab 2011 Pflicht.

Raucherzimmer: Ein Raucherzimmer wurde als solches gewertet, wenn regelmäßig oder gelegentlich darin geraucht wurde.

Geruch: Die Geruchsnoten wurden unmittelbar nach Betreten des Raumes vergeben von (0)/ sehr schwach (1)/ schwach (2)/ mittel (3)/ stark (4)/ bis sehr stark (5). Zwischennoten in Abstufungen der Geruchsintensität waren erlaubt.

Baufeuchte und Schimmel: Bei festgestellter Baufeuchte bzw. bei nachgewiesenem Schimmelpilzbefall wurde ein entsprechender Vermerk aufgenommen.

Von den 4428 beprobten Räumen wurden in 2308 Fällen Angaben über Raucherzimmer, davon 17 positiv, in 2113 Fällen Angaben zur Baufeuchte, davon 90 positiv und in 2115 Fällen Angaben über Schimmelbefall, davon 51 positiv, gemacht.

Von den insgesamt 4846 ZI-Datensätzen lagen für 3150 Datensätze Angaben zur Möblierung, in 2536 Datensätzen Angaben zum Geruch und in 3166 Datensätzen Angaben zur Anzahl der Personen im Raum, die zwischen 0 und 41 schwanken kann, vor. Für 662 ZI-Datensätze erfolgte nicht nur die Beurteilung, ob ein auffälliger Geruch vorhanden war, sondern auch eine Bewertung der Geruchsintensität (Tabelle 9).

Tabelle 9 Angaben zur Geruchsintensität und der Anzahl der jeweiligen ZI-Datensätze.

Geruchsnote	Anzahl ZI-Datensätze
0	2
0,25	5
0,5	8
0,75	13
1	46
1,25	31
1,5	55
1,75	39
2	121
2,25	19
2,5	87
2,75	15
3	106
3,25	9
3,5	39
3,75	7
4	26
4,25	5
4,5	6

Geruchsnote	Anzahl ZI-Datensätze
5	23
keine Angaben	4184
Σ	4846

6.4.5 Temperatur

Die Raumtemperaturen während der Probenahme lagen im Mittel bei $21,99\text{ °C} \pm 2,56\text{ °C}$. Abbildung 24 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Raumtemperatur während der Probenahme ($n=5310$).

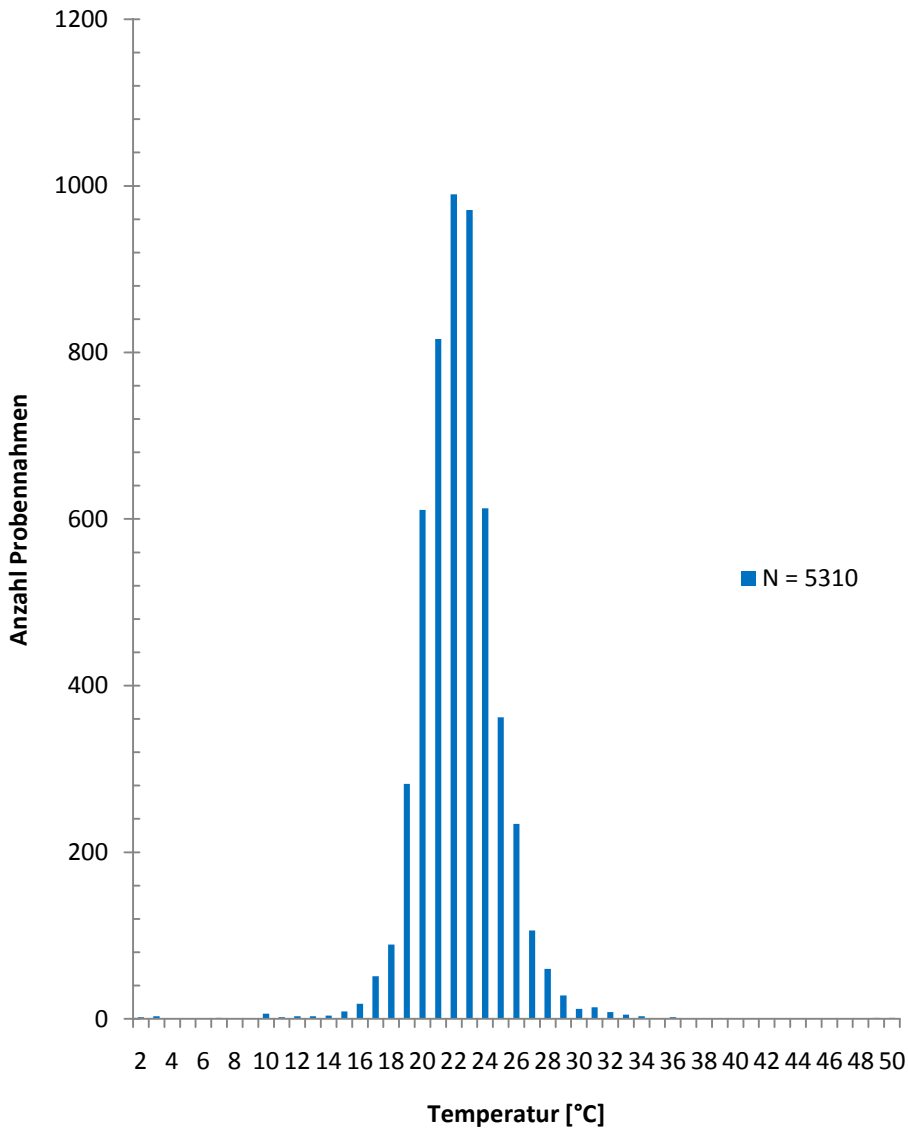


Abbildung 24 Häufigkeiten der Raumtemperatur [C°] während der Probenahme.

Die Erhebung der Raumklimadaten erfolgte jeweils bezogen auf die Probenahme (siehe Abbildung 25). Pro Datensatz konnten bis zu drei Probenahmen eingegeben werden. Eine erneute Eingabe der Klimadaten bei weiteren Probenahmen war nur bei Änderungen der klimatischen Bedingungen gegenüber der ersten Messung erforderlich.

6.4.6 Feuchte

Die während der Probenahme gemessene Luftfeuchtigkeit betrug durchschnittlich $48,16\% \pm 10,48\%$ rel. Feuchte. Abbildung 25 zeigt die Häufigkeitsverteilung der ermittelten Werte.

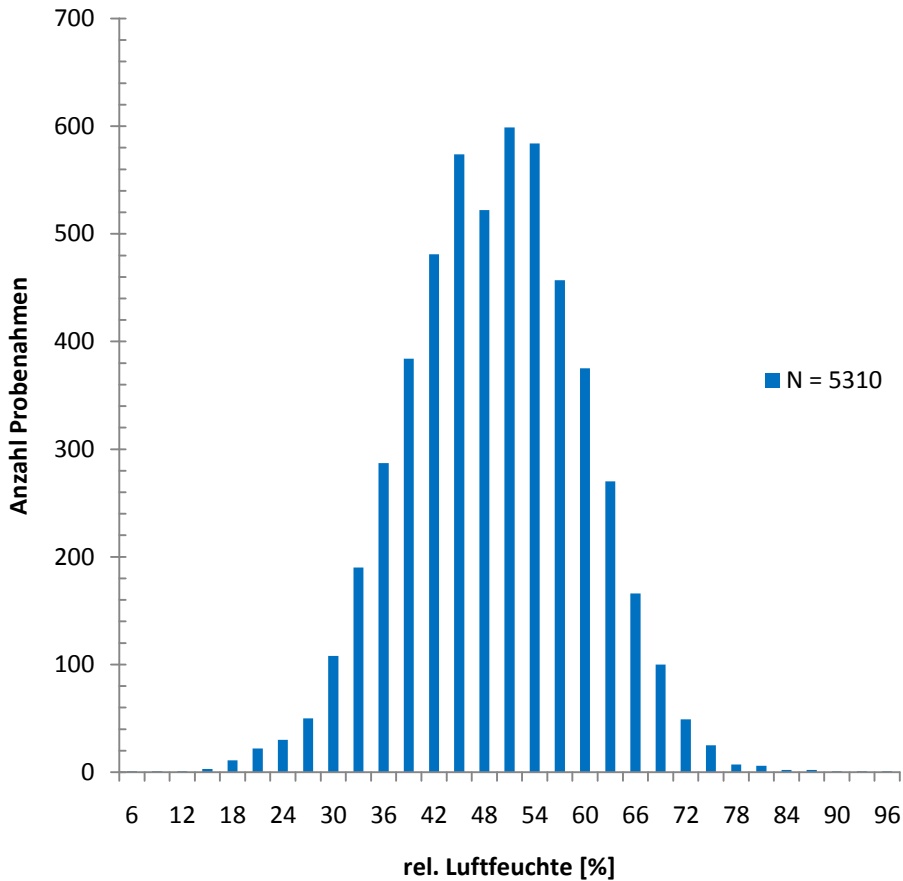


Abbildung 25 Relative Luftfeuchte [%] während der Probenahme.

7. Methoden

7.1 Probenahme

Die Anzahl der Probenahmen pro Datensatz variierte. Pro Datensatz konnten bis zu drei Probenahmen eingegeben werden. In zwei Fällen wurden nachträglich sechs Probenahmen, die primär als Einzeldatensätze vorlagen, einem Datensatz zugeordnet. In etwa 80 % der Fälle erfolgte eine Probenahme.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anzahl der Probenahmen pro Datensatz (ZI) aufgeführt.

Tabelle 10 Anzahl und Summe der Probenahmen pro ZI.

Anzahl Probe- nahmen	Anzahl ZI	Summe Probenah- men
1	3849	3849
2	889	1778
3	106	318
6	2	12
Σ	4846	5957

7.2 Analytische Verfahren

Für die Bestimmung der flüchtigen und weniger flüchtigen organischen Verbindungen wurden die in Tabelle 11 aufgeführten Methoden eingesetzt.

Tabelle 11 Anzahl und Anteil der Messwerte je Methodentyp.

Methoden	Anzahl Mess- werte	% Messwerte
TDS-MS	514.050	77,94
Misch	107.509	16,30
DNPH	21.036	3,19
AK-MS	9285	1,41
Anasorb-MS	6138	0,93
FSM	966	0,15
Anasorb-MS-FID	403	0,06
Impinger	141	0,02
Σ	659.528	100

Zu den Veränderungen der eingesetzten analytischen Methoden siehe Kapitel 15.1.

8. Substanzspektrum

8.1 Stoffumfang

Tabelle 12 listet die Anzahl der Stoffe und Messwerte je Stoffgruppe (ohne die Summenwerte für Stoffgruppen oder Gemische) insgesamt und für die Stoffe mit mehr als 20 Messwerten (> 20) auf. In einigen Fällen wurden Stoffbezeichnungen als Unterstoff einer vorhandenen Stoffbezeichnung zugeordnet. Zur Systematik der Stoffe siehe auch Abbildung 5 Formular zum Editieren von Einzelstoffen.

Es wurden Messwerte zu insgesamt 517 Einzelstoffen erfasst. Bei 77 Stoffen war die Anzahl der Messwerte ≤ 20 .

Von den Instituten angegebene Summenwerte für Stoffgemische oder Stoffgruppen wurden - mit Ausnahme der TVOC-Werte - nicht berücksichtigt. Die TVOC-Werte „TVOC Gesamtsumme (Sid + Snid)“ und „TVOC Toluol gesamt“ wurden ausgewertet.

Die umfangreichste Stoffgruppe mit der höchsten Anzahl an Einzelstoffen sind aromatische Verbindungen. Neben einigen schwerer flüchtigen Verbindungen, wie z. B. einige der untersuchten Flammschutzmittel und PAK, wurden auch eine Reihe VVOC erfasst. Hierzu gehören die mittels DNPH erfassbaren Aldehyde und Ketone sowie im Rahmen der VOC-Analytik erfassbare VVOC wie Methylacetat und Propanol.

Tabelle 12 Anzahl der Stoffe (alle Stoffe, Stoffe mit mehr als 20 Messwerten und davon Stoffe, die immer < BG bestimmt wurden) und Messwerte pro Stoffgruppe.

Stoffgruppe	Stoffe mit n>20		alle Stoffe		Gesamt Anzahl Messwerte
	Anzahl Stoffe	Anzahl Stoffe immer < BG	Anzahl Stoffe	Anzahl Stoffe immer < BG	
Alkane	37	1	53	1	84.334
Alkene	11	0	11	0	24.501
Aromaten	69	8	78	16	92.569
HKW	47	25	58	31	36.993
Alkohole	26	0	27	1	34.491
Terpene und terpenoide Verbindungen	24	1	30	4	48.573
Aldehyde	42	8	47	12	50.763
Ketone	23	5	25	7	29.940
Ester ein- und zweiwer- tiger Alkohole	56	5	65	14	102.069
Mehrwertige Alkohole und deren Ether	41	5	42	6	76.715
Siloxane	5	0	6	1	11.253
Organische Säuren	11	0	11	0	17.868
Sonstige Verbindungen	30	2	36	6	33.566
PAK	7	0	16	8	872
Flammschutzmittel	11	1	12	2	2137
TVOC	2	0	2	0	3666
Gesamt	442	61	519	109	650.310

8.2 Messwerte

Von den insgesamt 656.605 Messwerten (inkl. Summenwerten), die der Datenbank zugrunde liegen, sind 447.618 Messwerte (68,2 %) unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Am häufigsten unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden Verbindungen der Stoffgruppe Halogenkohlenwasserstoffe gemessen. In dieser Gruppe war auch die Anzahl der Stoffe mit weniger als 20 Messwerten am größten. Die höchste Anzahl an Messwerten wurde für die Stoffgruppe der Ester ein- und zweiwertiger Alkohole geliefert. In geringerem Umfang wurden Messwerte für Flammschutzmittel und PAK bereitgestellt, da hier weitere Untersu-

chungsverfahren erforderlich gewesen wären, die nur innerhalb der Messungen für den Teil B vorgesehen waren.

Die am häufigsten gemessenen Stoffe erreichten Fallzahlen von $n > 3600$. Die meisten Messwerte wurden für die Stoffe Methylethylketon, n-Hexanal, n-Pentanal, Cyclohexanon und Benzaldehyd geliefert, die mit verschiedenen Verfahren in der Raumluft gemessen werden.

Für 80 Stoffe aus dem Spektrum der VOC wurden mehr als 3000 Messwerte bereitgestellt. Für 234 Stoffe lag die Fallzahl bei größer 1000.

Die statistischen Kennwerte für die Stoffe mit mehr als 20 Messwerten sind im Anhang Teil A aufgeführt. Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich nur auf die Stoffe mit mehr als 20 Messwerten.

9. Ergebnisse der statistischen Auswertung

9.1 Vorkommen

Nur wenige der untersuchten flüchtigen organischen Verbindungen wurden bei fast jeder Messung oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Zu den Stoffen, die häufig bestimmt wurden und in mehr als 95 % der Untersuchungen oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen, gehören Acetaldehyd, n-Hexanal und Formaldehyd. Nur gut 80 der 440 Einzelstoffe mit mehr als 20 Messwerten wurden bei mehr als 50 % der Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt. Und etwa 250 Stoffe wurden bei weniger als 10 % der Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.

VVOC wie Formaldehyd, Aceton, Acetaldehyd und 2-Propanol aber auch Essigsäure erreichten vergleichsweise hohe Konzentrationen in den unteren, mittleren und höheren Perzentilen. Der höchste Messwert wurde mit $12.250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für 2-Propanol gemessen. Bei 36 Stoffen lag der Maximalwert bei $\geq 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Neben 2-Propanol wurden auch für Δ -3-Caren, α -Pinen, 2-Butanonoxim und Toluol Maximalwerte oberhalb von $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt.

9.2 Bestimmungsgrenzen

Die Bestimmungsgrenzen lagen überwiegend bei $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Bestimmungsgrenzen für Aldehyde und Ketone mittels DNPH/HPLC waren durchschnittlich höher als für die VOC, die mittels üblicher VOC-Untersuchungsmethoden bestimmt wurden. Einzelne, sehr hohe Bestimmungsgrenzen wurden für Ethanol, Essigsäure und 2-Propanol angegeben.

Auch für einige Glykole und Glykolderivate, die Oxime 2-Butanonoxim und Methylisobutylketoxim und die Phthalate Di(n-butyl)phthalat und Diisobutylphthalat wurden häufiger höhere Bestimmungsgrenzen genannt.

Sehr niedrige Bestimmungsgrenzen $\leq 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen aufgrund der empfindlicheren Verfahren für Flammenschutzmittel und PAK, sowie für MVOC, Alkylphenole und Alkyl-naphthaline und Chlorphenole und Chlornaphthaline vor.

9.3 Beschreibung der Stoffgruppen

9.3.1 Alkane (n-Alkane, Isoalkane und Cycloalkane)

Für die Stoffgruppe Alkane mit insgesamt 37 Einzelverbindungen kamen 84.334 Messwerte zur Auswertung. Darüber hinaus wurden Summenwerte für Stoffgemische von Isomeren und die Summe der Alkane erfasst, die aufgrund der geringen Fallzahl nicht ausgewertet wurden.

Alkane gehören zu den Stoffgruppen mit einer großen Anzahl an Einzelstoffen, die bei VOC-Untersuchungen routinemäßig erfasst werden. Viele der untersuchten Alkane wurden in mehr als der Hälfte der untersuchten Räume in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Die Bestimmungsgrenzen lagen überwiegend unter $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in den

meisten Fällen bei $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Konzentrationen der untersuchten Alkane waren überwiegend niedrig. Die 90. Perzentile der Alkane lagen meist unter $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für einige Alkane wurden Maximalwerte oberhalb von $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Die höchsten Perzentile wurden für n-Undecan gemessen. Der P90 für n-Undecan erreichte $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Maximalwert für n-Undecan lag bei $2580 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchste Einzelstoffkonzentration erreichte Cyclohexan mit einem Maximalwert von $3490 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gegenüber den Messwerten der VOC DB I wurden überwiegend niedrigere Konzentrationen gemessen.

9.3.2 Alkene

Die Stoffgruppe umfasst 11 Einzelstoffe. Es wurden insgesamt 24.501 Messwerte erfasst. Die meisten Messwerte lagen für 4-Phenylcyclohexen, 1-Octen und 1-Decen vor. Die Konzentrationen der untersuchten Alkene lagen überwiegend unterhalb der Bestimmungsgrenze. 95 % der Messwerte waren kleiner BG. 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 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Im Vergleich zu den Messwerten der VOC DB 1.0 wurden niedrigere Konzentrationen ermittelt.

9.3.3 Aromaten

Bei den VOC-Untersuchungen wurden viele aromatische Verbindungen in der Raumluft routinemäßig erfasst. Die Stoffgruppe umfasst 78 Einzelstoffe. Entsprechend war diese Stoffgruppe mit einer großen Anzahl von insgesamt 95.799 Messwerten vertreten.

Zu den am häufigsten untersuchten, am häufigsten oberhalb der BG und mit den höchsten Raumluftkonzentrationen nachgewiesenen Stoffen in dieser Gruppe gehören Toluol, m/p Xylol und Naphthalin. Toluol und m/p Xylol erreichen die höchsten P-90-Werte in dieser Gruppe in Höhe von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Toluol und $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für m/p Xylol. Das 90. Perzentil für Naphthalin liegt bei $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toluol erreicht mit einem Maximalwert von $5086 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die höchste Konzentration in dieser Gruppe, der Maximalwert m/p Xylol liegt bei $4446 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für Naphthalin bei $3349 \mu\text{g}/\text{m}^3$. P-90-Werte mit $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und mehr wurden auch für Styrol ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 1,2,4-Trimethylbenzol ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und Ethylbenzol ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ermittelt.

Für die überwiegende Zahl der Substanzen waren die Raumluftkonzentrationen im Vergleich zu den Messwerten der VOC DB 1.0 niedriger.

9.3.4 Halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW)

Die halogenierten Kohlenwasserstoffe wurden mit 36.993 Messwerten in geringerem Umfang als andere Stoffgruppen erfasst. Dennoch wurden die HKW deutlich häufiger untersucht als dies bei der VOC DB 1.0 der Fall war. Auch das Substanzspektrum wurde gegenüber der VOC DB 1.0 erweitert. Die Substanzliste umfasst 58 Einzelstoffe. Viele der untersuchten Einzelstoffe wurden nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze vorgefunden. Auch für den Großteil der gegenüber der VOC DB 1.0 neu hinzugekommenen Stoffe, wie z.B. Chlorphenoole, wurden keine Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.

Die Substanz mit dem häufigsten Vorkommen (in 10 % der untersuchten Räume) und der höchsten Konzentration ($1800 \mu\text{g}/\text{m}^3$) war die kanzerogene Verbindung 1,2-Dichlorethan. Das 95. Perzentil lag hier bei $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. P-95-Werte von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreichten auch Tetrachlorethen und Trichlormethan. Für alle übrigen Substanzen aus dieser Gruppe lag das 95. Perzentil unterhalb von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Gegenüber den Messwerten der VOC-DB 1.0 waren die Konzentrationen der HKW überwiegend niedriger. Auffällig waren hohe Konzentrationen für 1,2-Dichlorethan.

9.3.5 Alkohole

Während bei der Datenerfassung 2002 bis 2006 nur für 1-Butanol und 2-Ethyl-1-hexanol über 2000 Messwerte vorlagen, gehörten nun deutlich mehr Verbindungen von den insgesamt 27 Einzelstoffen aus dieser Gruppe zu den routinemäßig untersuchten Stoffen. Für diese Stoffgruppe wurden 34.491 Messwerte zur Verfügung gestellt. Die regelmäßig untersuchten Alkohole wurden in den untersuchten Innenräumen häufig oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Hohe Perzentile und Maxima erreichten 2-Propanol, 1-Propanol, Benzylalkohol, 1-Butanol, Isobutanol und 2-Ethyl-1-hexanol. Die höchste Einzelstoffkonzentration in dieser Gruppe, sowie auch von allen untersuchten Verbindungen, wurde für 2-Propanol mit $12.250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Das 90. Perzentil für 2-Propanol erreichte $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$; der 95-Perzentilwert lag bei $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Konzentrationen der untersuchten Alkohole waren überwiegend höher als bei der Datenerhebung VOC DB 1.0.

9.3.6 Terpenoide Verbindungen

Für die Stoffgruppe der Terpene bzw. terpenoiden Verbindungen liegen 48.573 Messwerte für 27 Einzelstoffe vor. Die am häufigsten untersuchten Terpene sind α -Pinen, β -Pinen, Limonen, Δ -3-Caren, Longifolen und α -Terpinen. Bis auf α -Terpinen wurden die zuvor genannten Terpene überwiegend oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Die höchsten Konzentrationen wurden für α -Pinen ($7700 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und Δ -3-Caren ($8200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ermittelt. Die 90. Perzentile liegen bei $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für α -Pinen und $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Δ -3-Caren. Das 90. Perzentil für Limonen liegt bei $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Während gegenüber den Daten der VOC DB 1.0 die Maximalwerte höher sind, liegen die Perzentile unter den Werten der VOC DB 1.0.

9.3.7 Aldehyde

Es wurden 56.763 Messwerte für die 47 Einzelstoffe umfassende Stoffgruppe der Aldehyde erfasst. Ein Großteil der Aldehyde wurde sehr häufig gemessen. Die größten Häufigkeiten ergaben sich insbesondere für die Aldehyde, die bei den üblichen VOC-Untersuchungen und bei der DNPH-Probenahme erfasst wurden. So erreicht n-Hexanal mit 3725 Messwerten die höchste Fallzahl.

Die Aldehyde Formaldehyd, Acetaldehyd und n-Hexanal wurden in über 95 % der untersuchten Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze vorgefunden. Die höchsten Konzentrationen und entsprechend hohe Perzentilwerte erreicht Formaldehyd. Das 90. Perzentil liegt bei $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit nur geringfügig unter dem Wert von $84,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der aus den Daten der VOC DB 1.0 ermittelt wurde. Dagegen sind für Formaldehyd die übrigen Perzentile sowie der Maximalwert mit $467 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der aktuellen Auswertung höher. Die Fallzahl ist mit 2035 Messwerten gegenüber 446 Messwerten, die in der VOC DB 1.0 ausgewertet wurden, deutlich höher.

Der höchste Einzelmesswert in dieser Stoffgruppe wurde mit $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Benzaldehyd gemessen. Hexanal erreichte ein Maximum von $1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für Aldehyde wurden in der Regel niedrigere Maxima ermittelt als dies bei klassischen Lösungsmitteln der Fall ist. Die Maximalwerte liegen eher bei einigen Hundert $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder deutlich darunter.

Die höchsten Bestimmungsgrenzen wurden für Formaldehyd angegeben. Das 90. Perzentil der Bestimmungsgrenze lag hier bei $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei den übrigen Aldehyden lagen die 90. Perzentile der Bestimmungsgrenzen zwischen $0,3$ und $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Bis auf Benzaldehyd und Furfural waren die Raumluftkonzentrationen für Aldehyde im Vergleich zu den Messwerten der VOC DB 1.0 überwiegend niedriger.

9.3.8 Ketone

Für Ketone wurden insgesamt 29.940 Messwerte erfasst. Die Stoffgruppe umfasst 25 Einzelstoffe. Zu den am häufigsten untersuchten Ketonen gehören Cyclohexanon, Methylethylketon (MEK), Methylisobutylketon (MIBK) und Acetophenon. Die höchsten Konzentrationen in den untersuchten Innenräumen lagen für Aceton vor. Das 90. Perzentil der Acetonverteilung wurde mit $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt. Der Maximalwert betrug $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch für Cyclohexanon und Methylethylketon wurden Maxima $> 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Methylethylketon erreichte einen P-90-Wert von $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für Cyclohexanon lag der P-90-Wert bei $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für Methylisobutylketon bei $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Darüber hinaus wurden 2- und 3-Heptanon sowie Methylisobutylketon häufiger untersucht und in ca. 30 bis 50 % der Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Während für viele Ketone im Vergleich zu den Messwerten der VOC DB 1.0 niedrigere Werte ermittelt wurden, waren die Konzentrationen für Cyclohexanon höher.

9.3.9 Ester ein- und zweiwertiger Alkohole

Ester wurden sehr häufig untersucht (102.069 Messwerte, 65 Einzelstoffe) und häufig in der Raumluft nachgewiesen. Die Acetate Methylacetat, Ethylacetat und n-Butylacetat erreichen das häufigste Vorkommen und die höchsten Raumluftkonzentrationen. In über 70 % der Proben waren die Acetate bestimmbar. Die Maximalwerte liegen bei $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Methylacetat und $2950 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für n-Butylacetat. Die 90. Perzentile für Ethylacetat und n-Butylacetat liegen bei über $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Acrylate wurden ebenfalls häufig untersucht. Auffällig war der Maximalwert für Methacrylsäuremethylester in Höhe von $1350 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Von den Glykolestern wurden am häufigsten Propylenglykolmonomethyletheracetat (PGMMA), Ethylenglykolmonomethyletheracetat (EGMEA) und Ethylenglykolmonobutyletheracetat (EGMBA) untersucht. Während Ethylenglykolmonomethyletheracetat (EGMEA) und Ethylenglykolmonobutyletheracetat (EGMBA) in weniger als 4 % der Proben bestimmt wurden, lag die Häufigkeit des Nachweises oberhalb der Bestimmungsgrenze bei Propylenglykolmonomethyletheracetat (PGMMA) bei über 50 %. Diese Substanz erreicht auch die höchsten Perzentilwerte innerhalb der Glykolester. Das 90. Perzentil für PGMMA liegt bei $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Weitere Dicarbonsäureester sowie Phthalate wurden ebenfalls häufig untersucht. Bis auf Phthalate, die auch häufig nachgewiesen werden konnten, waren die übrigen Dicarbonsäureester eher selten in den untersuchten Proben nachweisbar. Von den weiteren 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. 19 der Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt wurde und einen Maximalwert von $1100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreichte, war TXIB in ca. 44 % der Proben bestimmbar, die höchste Konzentration wurde mit $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen.

Auch in dieser Stoffgruppe waren die ermittelten Konzentrationen gegenüber der VOC BD 1.0 überwiegend niedriger.

9.3.10 Mehrwertige Alkohole und deren Ether (Glykole und Glykolether)

Glykole und Glykolether mit 42 Einzelstoffen wurden in Innenräumen ebenfalls häufig untersucht. Es wurden insgesamt 76715 Messwerte für diese Stoffgruppe zur Verfügung gestellt.

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

Hohe Einzelstoffkonzentrationen mit maximalen Konzentrationen $> 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $< 2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden für Dipropylenglykoldimethylether, Ethylenglykolmonobutylether, Diethylenglykolmonoethylether, 3-Methoxy-1-butanol und 1,2-Propylenglykolmonomethylether ermittelt. Die höchsten P-90-Werte ($> 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) erreichten mit jeweils gerundet $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1,2-Propylenglykol, 1,2-Propylenglykolmonomethylether und Ethylenglykolmonobutylether.

Im Vergleich zu den Messwerten der VOC DB 1.0 wurden eher niedrigere Konzentrationen für Glykole und Glykolether ermittelt.

9.3.11 Siloxane

Neben den vier cyclischen Siloxanen Hexamethylcyclotrisiloxan (D3), Octamethylcyclotetra- (D4), Decamethylcyclopenta- (D5) und Dodecamethylcyclohexasiloxan (D6) wurde auch Hexamethyldisiloxan in 974 Proben erfasst. Am häufigsten untersucht wurde Cyclotetrasiloxan (Siloxan D4). Die Siloxane D3, D4 und D5 wurden in über 70 % der untersuchten Luftproben oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Die höchste Konzentration wurde mit $650 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Siloxan D5 ermittelt. Der P-90-Wert für Cyclopentasiloxan liegt bei $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch die Siloxane D3 und D4 erreichen P-90-Werte $> 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

9.3.12 Organische Säuren

Für die 11 organischen Säuren wurden mit 17.868 Messwerten deutlich mehr Daten als in der VOC DB 1.0 zur Verfügung gestellt. Bei ca. 35 % der Messungen wurden die organischen Säuren in den untersuchten Innenräumen bestimmt. Essigsäure, Propionsäure und n-Hexansäure wurden in mehr als der Hälfte der Untersuchungen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Die höchsten Konzentrationen erreicht Essigsäure. Der Maximalwert beträgt $2800 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das 90. Perzentil liegt bei $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der P-90-Wert für Propionsäure liegt bei $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für n-Hexansäure bei $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Einige der untersuchten Alkansäuren sind mit den hier eingesetzten analytischen Methoden nicht vollständig erfassbar. Dennoch stellen diese Verfahren die üblicherweise im Rahmen der durchgeführten Raumlufthuntersuchungen eingesetzten Methoden dar.

9.3.13 Sonstige Verbindungen

Zu den sonstigen Verbindungen, die regelmäßig in den untersuchten Innenräumen bestimmt wurden ($n > 3000$), gehören Tetrahydrofuran, Methyl-2-pyrrolidon und 2-Butanonoxim. Ebenfalls häufig ($n > 2000$) untersucht wurden Benzothiazol und 1,4-Dioxan. Insgesamt wurden in dieser Stoffgruppe für 36 Einzelstoffe 33.566 Messwerten genannt.

Die höchste Einzelstoffkonzentration und das höchste 90. Perzentil wurde für 2-Butanonoxim ermittelt. Der Maximalwert liegt bei $6120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das 90. Perzentil bei $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hohe Konzentrationen wurden auch für Methyl-2-pyrrolidon gemessen. Der Maximalwert liegt hier bei $1336 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das 90. Perzentil bei $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

9.3.14 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und ähnliche Verbindungen

PAK wurden nur in wenigen Fällen ($n \cong 120$) untersucht. In diesen Fällen wurden sie häufig oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt. Am häufigsten nachgewiesen wurden Fluoren

und Phenanthren und die höchsten Konzentrationen erreichten Phenantren, Acenaphthen und Fluoren. Der Maximalwert für Phenantren liegt bei $132 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das 90. Perzentil beträgt $0,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der höchste P-90-Wert in dieser Stoffgruppe wurde für Acenaphthen mit $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt.

9.3.15 Flammschutzmittel auf der Basis von Phosphorsäureestern

Über die Anzahl der Messungen in den Objekten für den Teil B des Vorhabens hinaus wurden nur Triethylphosphat und Tributylphosphat in nennenswertem Umfang untersucht. Die höchsten Einzelstoffkonzentrationen liegen für Tributylphosphat vor. Der Maximalwert wurde mit $1,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt, das 90. Perzentil liegt bei $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das Flammschutzmittel Tris(2-chlorisopropyl)phosphat war in 69 der 99 untersuchten Luftproben bestimmbar. Der Maximalwert liegt bei $0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das 90 Perzentil beträgt $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

9.3.16 TVOC

Von den verschiedenen, laborspezifisch ausgewerteten Summenwerten wurden in die Kennwerttabellen 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 und 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 leider nur für etwa die Hälfte der Messungen angegeben. Es wurde für die TVOC Gesamtsumme ein Median in Höhe von $720 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der 90 Perzentilwert liegt bei $1572 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das 95. Perzentil bei $2398 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Maximalwert erreichte $27.520 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Konzentrationen für den TVOC über Toluol waren vergleichbar.

Es wurden ähnlich hohe TVOC-Werte wie in der VOC DB 1.0 ermittelt.

9.4 Vergleich der VOC-Konzentrationen für verschiedene Raumnutzungstypen

Es wurden sieben Raumnutzungstypen - Wohnraum, Büro, Klassenraum, Gruppenraum, Flur/Verkehrsfläche, Nebenraum und Veranstaltungsraum/Halle - erfasst. Für die dominierenden Raumnutzungen Wohnraum, Büro und Klassenraum ist die vollständige Substanzliste (ab $n \geq 20$) mit den Angaben zur Stichprobengröße, % >BG, Median, 90. Perzentil und 95. Perzentil in Anhang Teil A aufgeführt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die P-90- und P-95-Werte für ausgewählte Stoffe vergleichend zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum, Büro und Klassenraum. Es ist zu berücksichtigen, dass die größte Anzahl an Messungen in Büroräumen durchgeführt wurde und für Wohnräume und Klassenräume in geringerem Umfang Messwerte zur Verfügung stehen.

Tabelle 13 Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum, Büro, Klassenraum. P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil. Die Maximalwerte pro Zeile sind rot markiert.

Stoffe	Wohnraum		Büroraum		Klassenraum	
	P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Cyclohexan	5,0	10	10	22	5,0	11
Toluol	34	56	30	51	27	43
Styrol	8,0	14	8,9	16	16	28
Naphthalin	1,1	2,4	1,0	3,0	2,5	7,2
α -Pinen	85	157	39	98	76	190
Limonen	38	63	20	30	19	30
Formaldehyd	85	125	64	77	110	170
Hexanal	67	108	46	73	54	81
2-Butanon	22	38	28	55	33	99
EGMB	13	37	9,0	19	16	49
EGMP	2,7	4,6	5,0	9,0	16	38
Benzylalkohol	2,8	5,0	5,3	15	9,2	49
2-Ethylhexanol	11	18	11	18	36	100
Benzothiazol	1,0	1,0	1,0	1,0	7,0	14
2-Butanonoxim	4,0	7,0	4,0	14	9,8	35

Für die meisten der hier genannten Stoffe waren die Konzentrationen in den untersuchten Büroräumen am niedrigsten. Lediglich für Cyclohexan wiesen Büroräume höhere Konzentrationen auf. Überwiegend höhere Konzentrationen lagen für Limonen und Hexanal in Wohnräumen vor. Für α -Pinen liegt das 90. Perzentil in der Gruppe der Wohnräume oberhalb des 90. Perzentils in der Gruppe der Klassenräume. Für das 95. Perzentil wird in der Gruppe Klassenräume das höhere Perzentil erreicht. Für alle übrigen hier aufgeführten VOC wurden die jeweils höchsten Perzentile für die Gruppe Klassenräume ermittelt.

Für die Stoffe Cyclohexan, Limonen, Formaldehyd, EGMB, Benzothiazol und 2-Butanonoxim wurden exemplarisch für Wohnräume, Büroräume und Klassenräume BoxPlots erstellt (siehe Abbildung 26 bis Abbildung 31). Die BoxPlots stellen das 25. Perzentil, den Median und das 75. Perzentil dar. Der Whisker gibt das 90. Perzentil und der Punkt das 95. Perzentil an

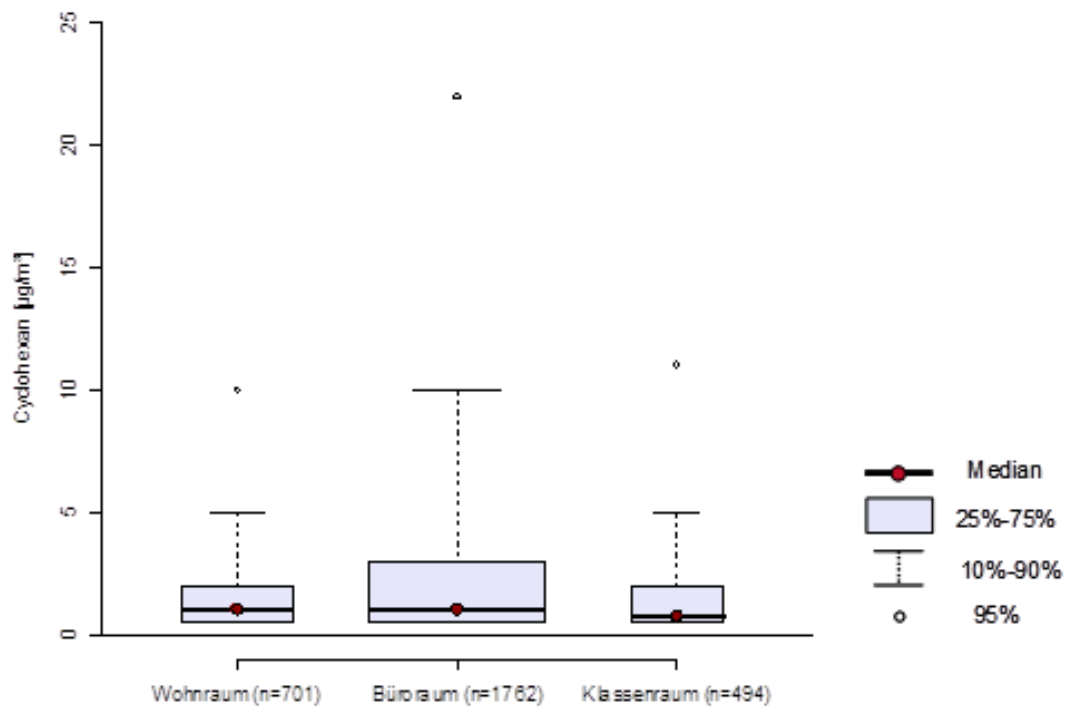


Abbildung 26 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – Cyclohexan.

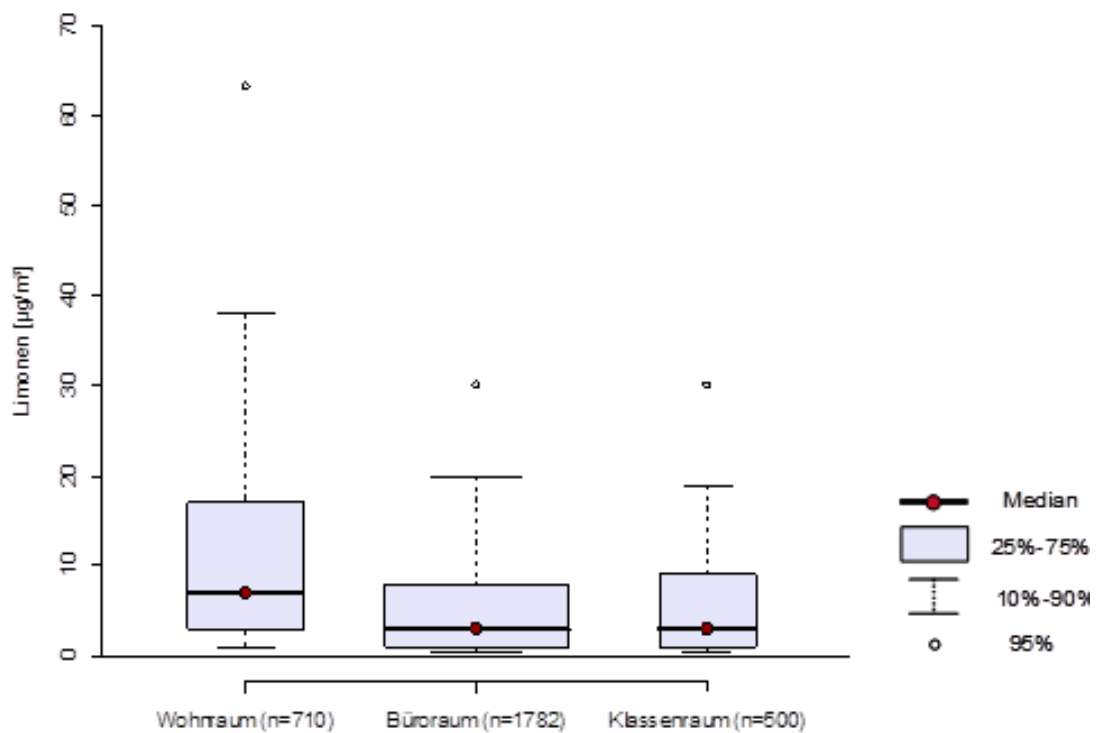


Abbildung 27 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – Limonen.

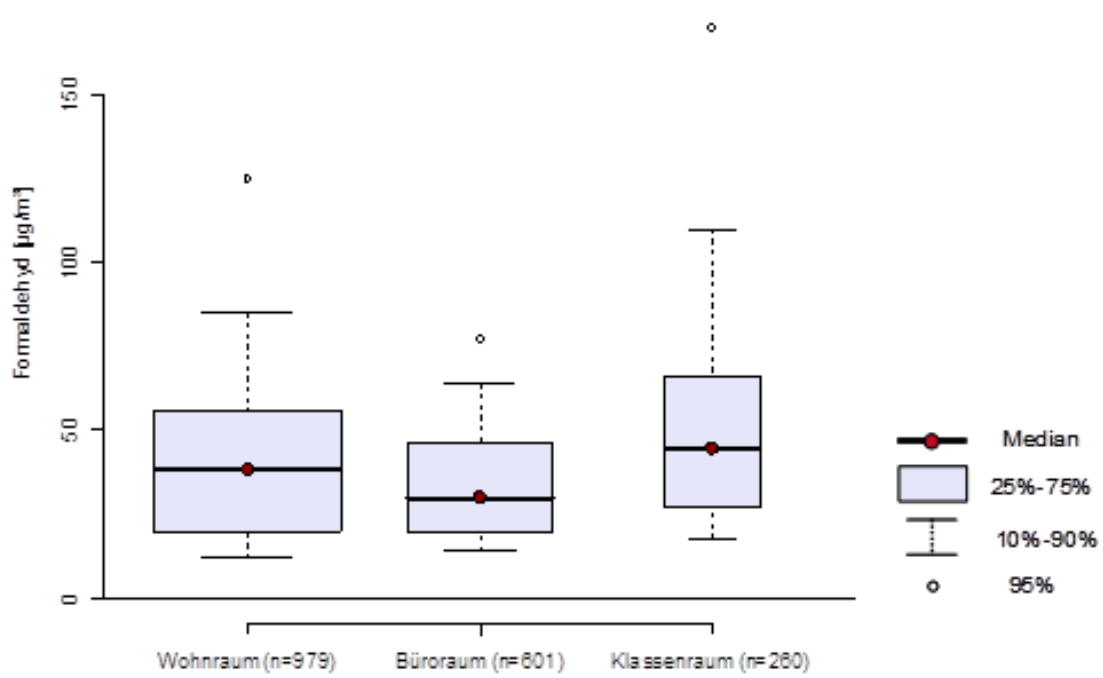


Abbildung 28 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – Formaldehyd.

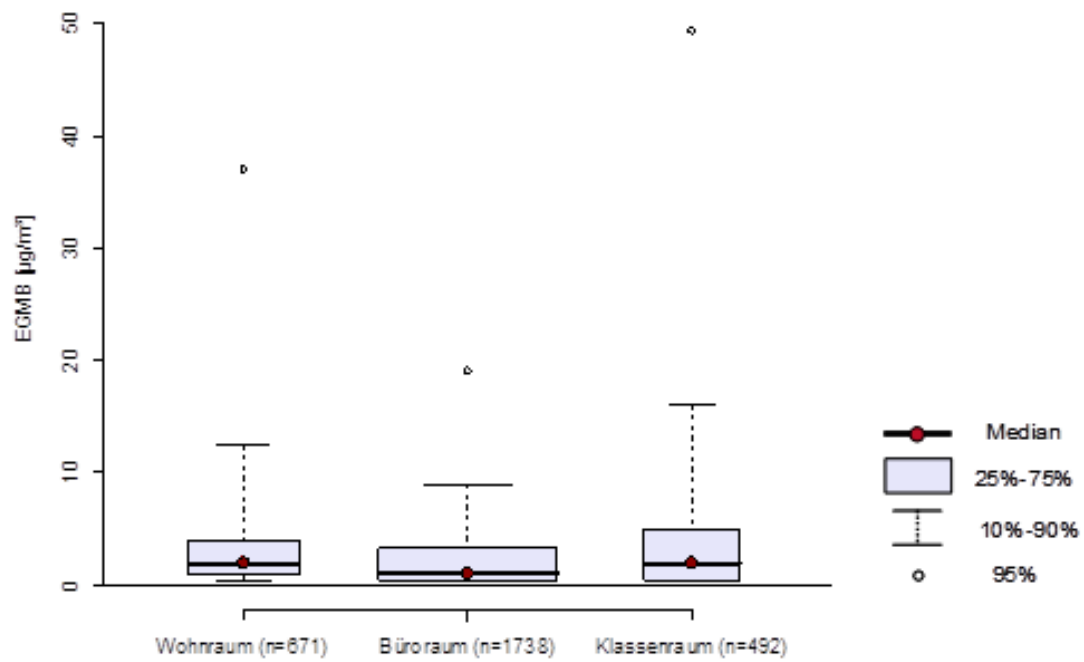


Abbildung 29 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – EGMB.

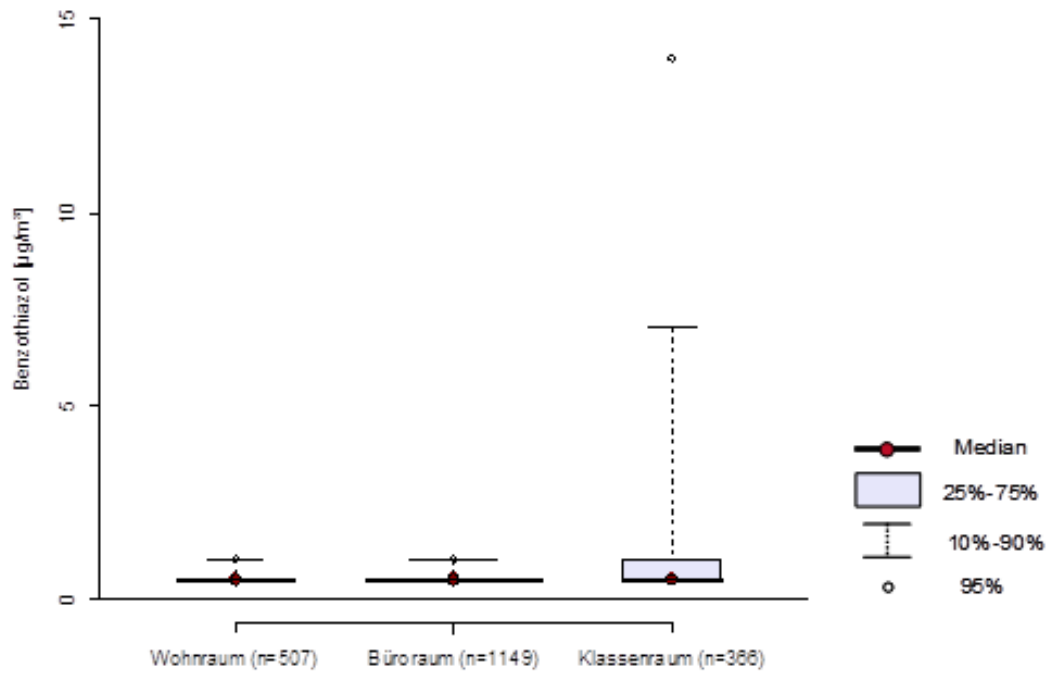


Abbildung 30 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – Benzothiazol.

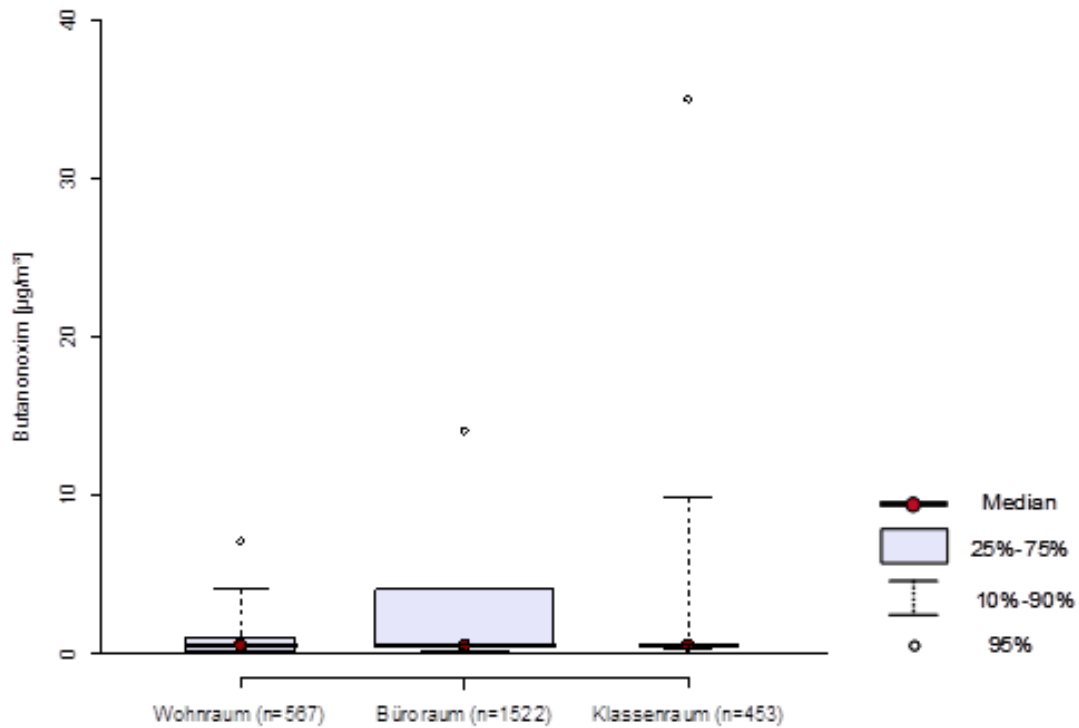


Abbildung 31 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – 2-Butanonoxim.

9.5 Vergleich der VOC-Konzentrationen bei unterschiedlichen Lüftungsbedingungen

In über 93 % der Fälle erfolgte die Probenahme nach einer Nichtbelüftung von mindestens 8 Stunden (Messung der Ausgleichskonzentration). In den Objekten mit Lüftungsanlage wurde in der Regel bei Betrieb der Anlage gemessen (Nutzungsbedingungen RLT ein: 4 % der Fälle). In 130 Fällen (2,7 %) wurde die Nutzung entsprechend dem Nutzungsszenario für Schulen simuliert. Siehe hierzu auch Kapitel 6.4.3.

Im Anhang Teil A sind ausgewählte, statistische Kennwerte für die Teilgruppen „ungelüftet“ und „gelüftet“ in Bezug auf die Lüftungsbedingungen des Raumes vor der Probenahme aufgeführt.

Es wurden überwiegend deutlich niedrigere Konzentrationen in den „gelüfteten“ Räumen gemessen. Bei Benzol erreichen die Perzentile P 90 und P 95 für beide Teilgruppen die gleichen Werte. Höhere Perzentile in der Teilgruppe „gelüftet“ fanden sich für n-Hexan (P95), 2-Methylhexan (P95), Epichlorhydrin (P95), n-Propanol (P95), Aceton (P95) und Benzothiazol (P90 und P95).

Die nachfolgende Tabelle zeigt die P-90- und P-95-Werte für ausgewählte Stoffe vergleichend zwischen den Lüftungsbedingungen „ungelüftet“ und „gelüftet“. Es ist zu berücksichtigen, dass die maximale Anzahl der Messwerte bei der Lüftungsbedingung „gelüftet“ bei mehr als 3500 Messwerten liegt, wohingegen für die Lüftungsbedingung „ungelüftet“ nur maximal 307 Messwerte vorliegen.

Tabelle 14 Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Lüftungsbedingungen „gelüftet“ und „ungelüftet“. P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil.

	„ungelüftet“		„gelüftet“	
	P90 µg/m ³	P95 µg/m ³	P90 µg/m ³	P95 µg/m ³
n-Undekan	14	29	6,0	13
Cyclohexan	9,0	20	4,0	8,1
Benzol	3,0	4,0	3,0	4,0
Toluol	31	53	17	28
Styrol	12	23	8,0	13
Limonen	24	40	17	29
Formaldehyd	83	120	42	48
Hexanal	58	94	25	34
EGMP	14	35	6,0	16
Siloxan D4	7,0	13	4,0	6,0
2-Butanonoxim	5,0	21	4,8	14
Benzothiazol	1,0	2,0	6,0	9,0
TVOC Summe	1617	2519	798	1180
TVOC Toluol	1600	2700	528	614

In den „gelüfteten“ Räumen waren die VOC-Summenkonzentrationen ebenfalls deutlich niedriger.

9.6 Vergleich der VOC-Konzentrationen in Räumen mit unterschiedlichen Lüftungsarten

In den untersuchten Räumen war der Belüftungstyp „Fensterlüftung“ mit 3520 Räumen dominierend. Mit einer technischen Lüftung waren insgesamt 174 Räume ausgestattet. Siehe hierzu auch Kapitel 6.3.2.

Im Anhang Teil A sind ausgewählte statistische Kennwerte für die Teilgruppen „Fensterlüftung“ und „technische Lüftung“ aufgeführt.

Für den Großteil der untersuchten Stoffe waren die Konzentrationsunterschiede zwischen den beiden Teilgruppen relativ gering, geringer als im Vergleich der Teilgruppen „gelüftet“ „ungelüftet“. Für viele Stoffe waren die Konzentrationen in den Räumen mit Fensterlüftung höher, wobei die Unterschiede weniger deutlich ausgeprägt waren als zwischen den Teilgruppen „gelüftet“ (bei Betrieb Lüftungstechnischer System oder Nutzungssimulation mit manueller Belüftung) und „ungelüftet“ (mind. 8 Stunden ungelüftet). Aber es traten auch bei einer Reihe von Stoffen höhere Konzentrationen in der Teilgruppe der Räume mit einer raumluftechnischen Anlage auf. Zu den Stoffen, deren Perzentile P 90 und/oder P 95 in den Räumen mit einer raumluftechnischen Anlage höher waren, gehören u.a. Hexan, Heptan, Cyclopentan, Benzol und Essigsäure.

Deutlich niedrigere Perzentile für die Teilgruppe „technische Lüftung“ gegenüber der Teilgruppe „Fensterlüftung“ ergab die Konzentrationsverteilung für Formaldehyd. Auch für die TVOC Gesamtsumme waren die Perzentile in der Teilgruppe „technische Lüftung“ mit 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 1070 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95) deutlich niedriger als in der Teilgruppe „Fensterlüftung“ mit 1206 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95).

9.7 Vergleich der VOC-Konzentrationen in den Teilgruppen für den „Zeitpunkt der Probenahme nach einer Renovierung“

Aufgrund der Gehalte an flüchtigen organischen Verbindungen in neuen Produkten wie Bauprodukte oder Mobiliar können im Zusammenhang mit Neuanschaffungen oder Renovierungsmaßnahmen erhöhte VOC-Konzentrationen in der Raumluft in Innenräumen auftreten. Bei den Auswertungen der Daten des Projektes VOC DB 1 wurde der Probenahmezeitpunkt in Abhängigkeit vom Abstand zur letzten Renovierungsmaßnahme als wesentlicher Einflussfaktor für einige der untersuchten flüchtigen organischen Verbindungen identifiziert.

Aufgrund der stärkeren Fokussierung auf die Abfrage von Merkmalen zur Energieeffizienz lagen im Vergleich mit den für die VOC DB I gemachten Angaben weniger differenzierte Nennungen zur Art und zum Zeitpunkt der letzten Renovierung vor der Probenahme vor.

In der Auswertung ergibt sich ein ähnliches Bild, wobei die hier zugrundeliegenden Stichproben vergleichsweise klein sind.

Übereinstimmend mit den Erkenntnissen im Rahmen der Auswertung der Daten der VOC DB I kann, auch mit den herangezogenen Daten der VOC DB II, eine Differenzierung in Stoffe, deren Konzentration mit zunehmender Zeitdauer nach einer Renovierung abnehmen und Stoffe, deren Konzentration sich in Abhängigkeit von der Zeitdauer nach einer Renovierung kaum oder unregelmäßig ändert, vorgenommen werden.

Während bei Stoffen wie z.B. m,p-Xylol (Abbildung 32), 2,2,4,6,6-Pentamethylheptan (Abbildung 33), 2-Butanon (Abbildung 34) und Ethylenglykolmonophenylether (Abbildung 35) die Perzentile mit zunehmender Zeitdauer nach einer Renovierung „abklingen“, zeigen die Verbindungen Limonen (Abbildung 36) und Formaldehyd (Abbildung 37) keine Abnahme in den Teilgruppen mit zunehmender Zeitdauer nach einer Renovierung.

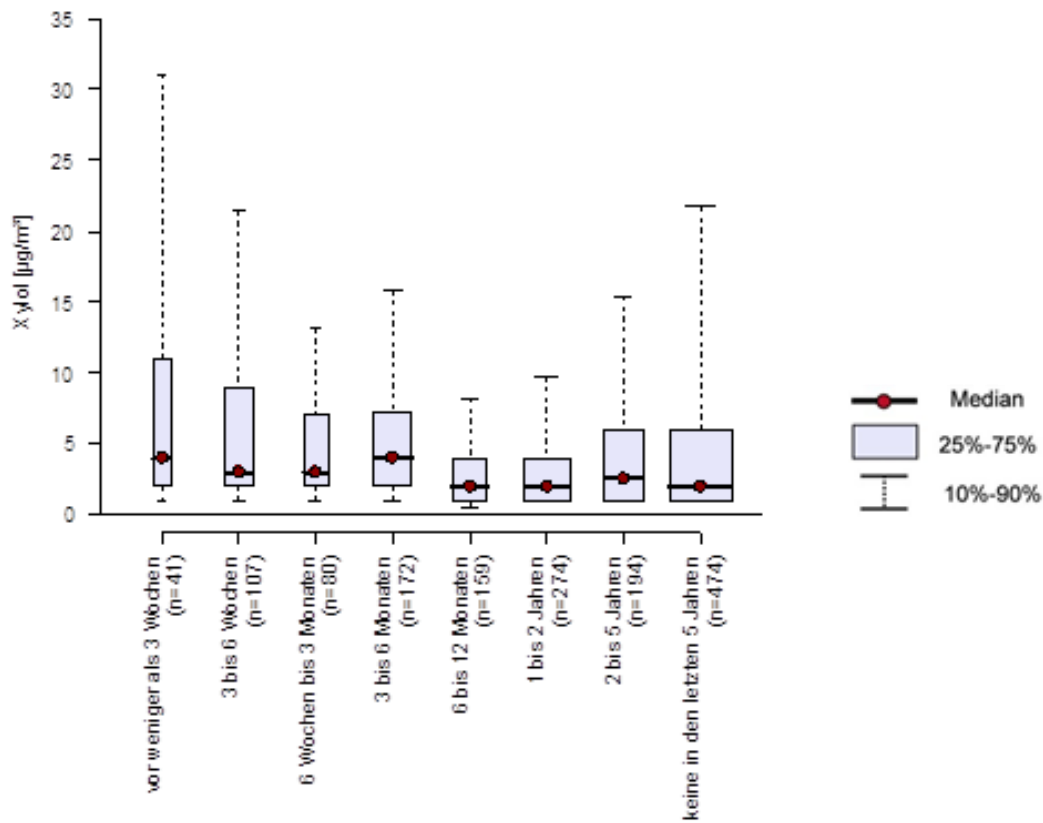


Abbildung 32 Abklingverhalten von m,p-Xylol mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.

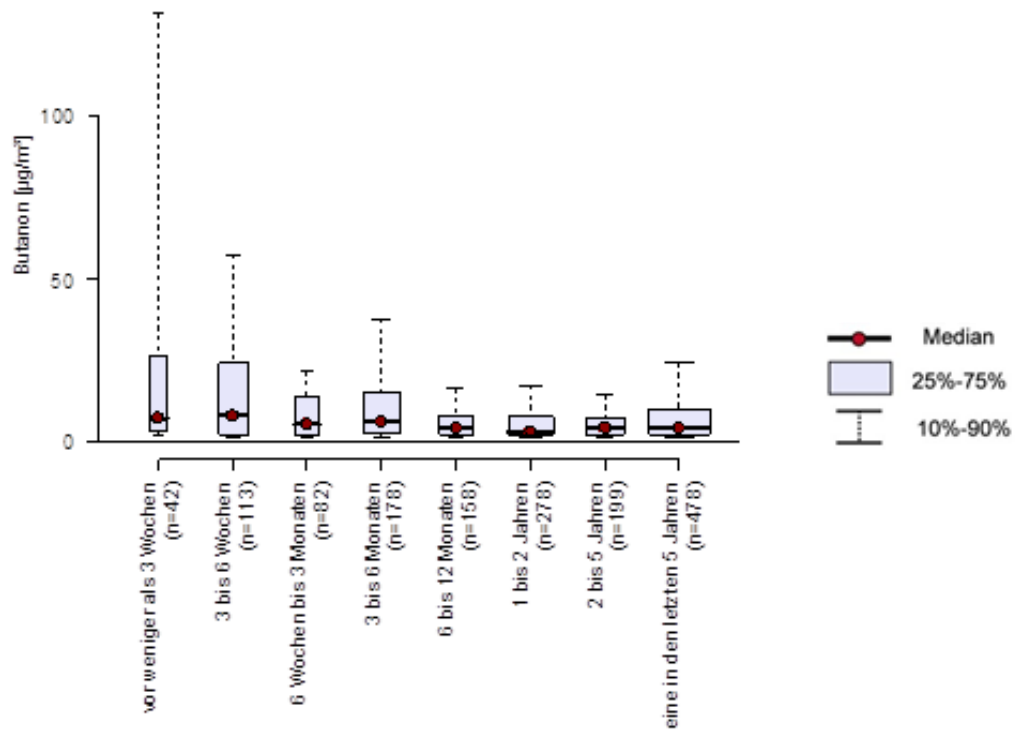


Abbildung 33 Abnahme von 2,2,4,6,6-Pentamethylheptan mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.

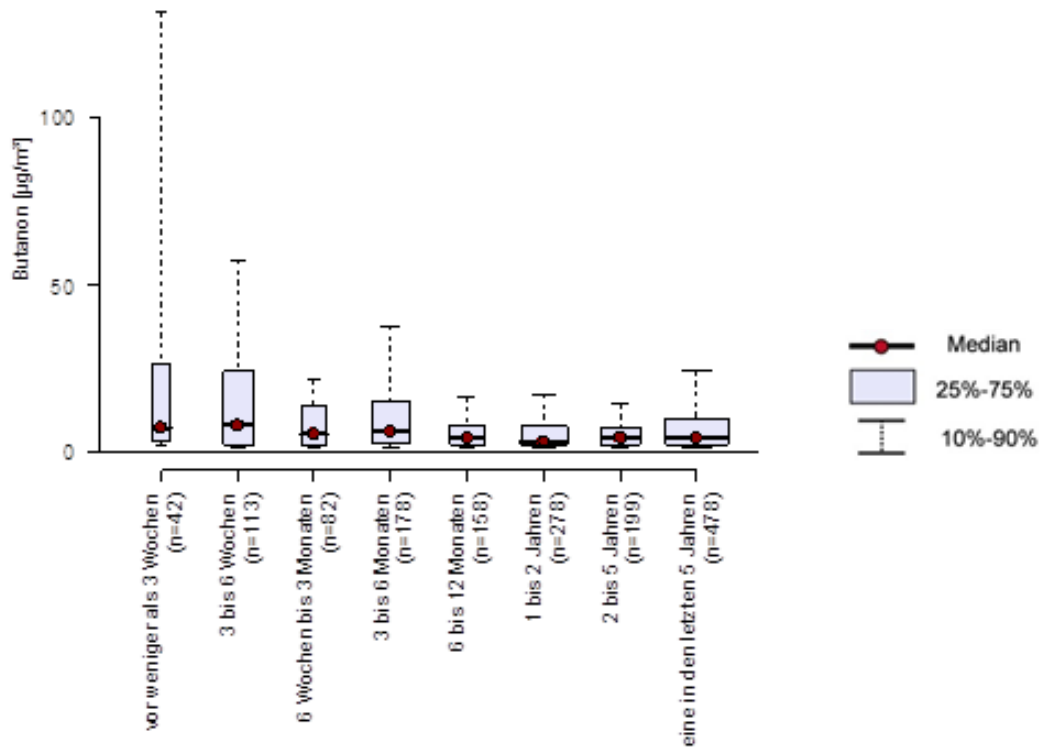


Abbildung 34 Abnahme von 2-Butanon mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.

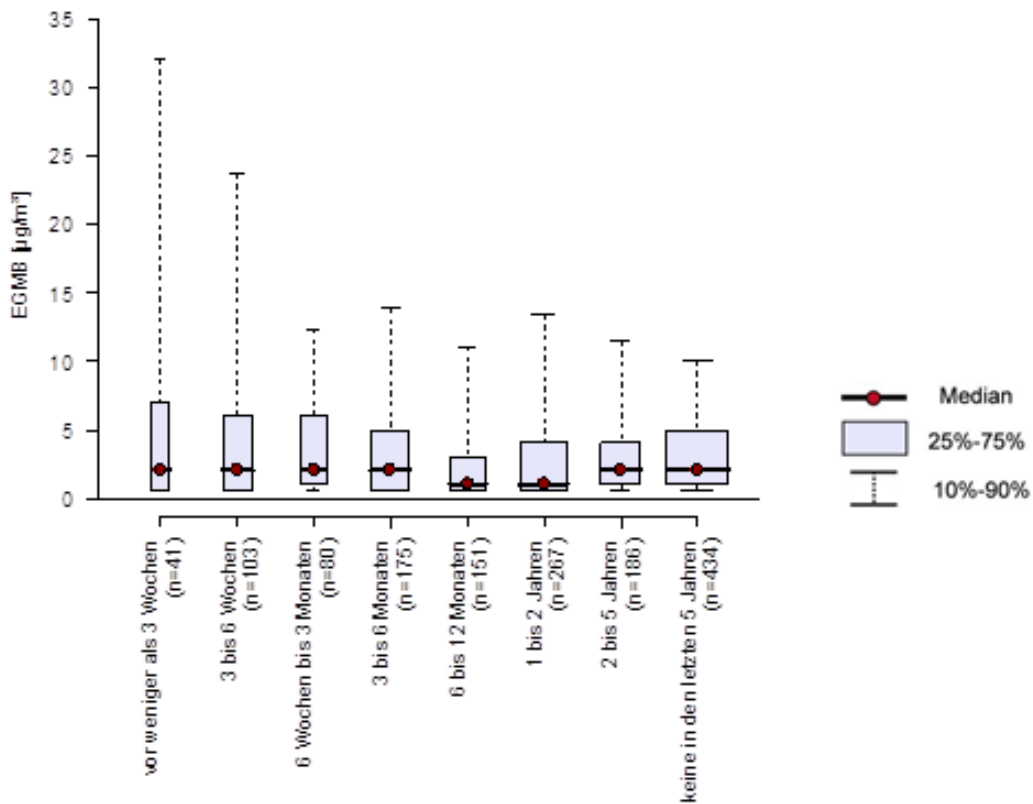


Abbildung 35 Abnahme von EGMP mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.

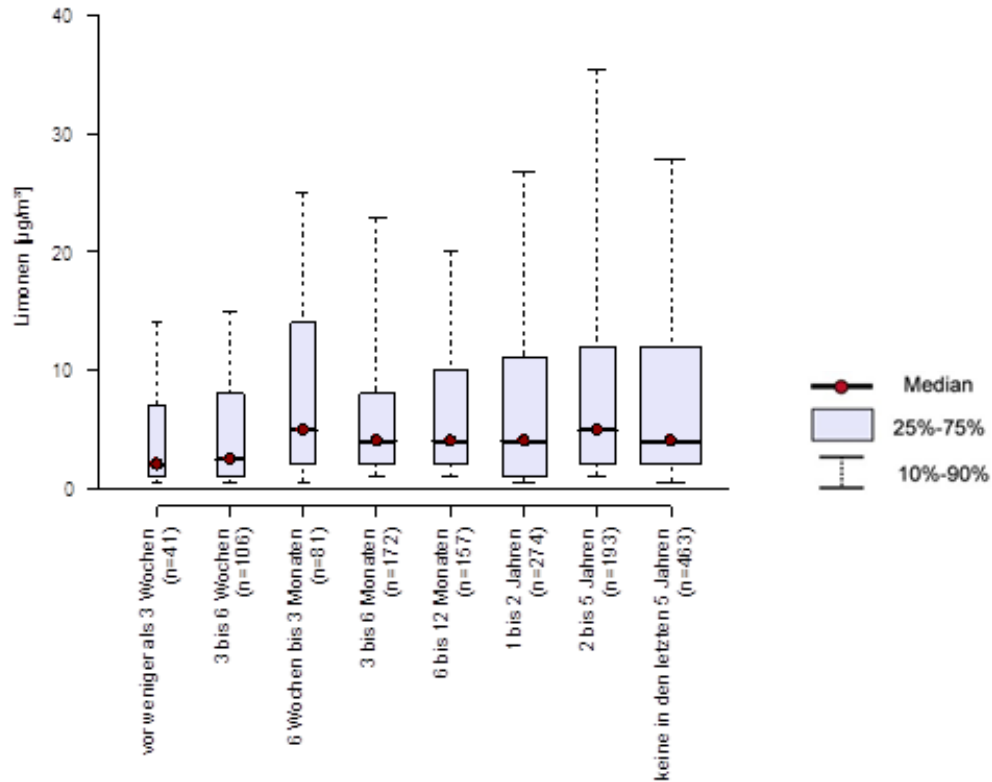


Abbildung 36 Kein Abklingen von Limonen mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.

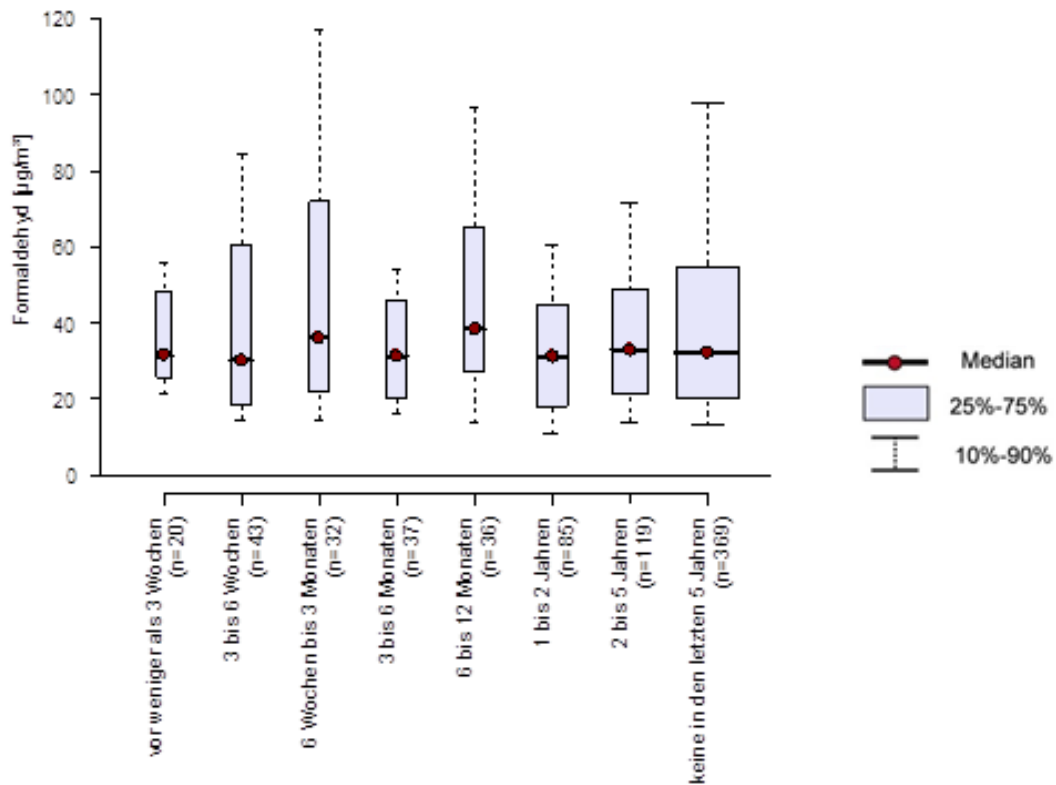


Abbildung 37 Kein Abklingen von Formaldehyd mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.

9.8 Vergleich der VOC-Konzentrationen für verschiedene Baualtersklassen

Die nachfolgende Tabelle 15 listet für sechs Einzelstoffe und den TVOC verschiedene statistische Kennwerte für verschiedene Baualtersklassen auf. Zwischen verschiedenen Baualtersklassen variierten die Stoffkonzentrationen teilweise erheblich.

Tabelle 15 Vergleich der Stoffkonzentrationen ausgewählter Stoffe zwischen den Baualtersklassen. N = Stichprobengröße, %>BG= Anteil Messungen über der Bestimmungsgrenze, Median= 50. Perzentil, 90%= 90. Perzentil, 95%= 95. Perzentil. Die Maximalwerte (rot) und Minimalwerte (blau) pro Spalte sind farbig markiert.

Baualters- klasse	Kennwerte	Stoffe						
		Toluol µg/m ³	Styrol µg/m ³	Naphthalin µg/m ³	a-Pinen µg/m ³	Formaldehyd µg/m ³	n-Hexanal µg/m ³	TVOC µg/m ³
vor 1918	Gesamt N	264	260	258	255	127	265	151
	% >BG	96	64	56	87	98	96	100
	Median	6	1	0,5	7	30	10	320
	90%	22	5	3	71	64	40	880
	95%	35	11	8,6	127	77	63	1250
1919-1948	Gesamt N	427	427	422	407	196	443	288
	% >BG	93	63	63	90	95	96	100
	Median	8	1	0,4	4	29	8	370
	90%	32	4	3,6	52	66	38	1800
	95%	49	6,7	7,0	103	84	57	3165
1949-1958	Gesamt N	142	138	137	140	65	144	82
	% >BG	92	63	55	91	99	94	100
	Median	7	1	0,5	2	26	8	270
	90%	21	6	3	19	51	26	868
	95%	26	19	7,7	47	67	40	920
1959-1968	Gesamt N	245	250	242	248	180	258	151
	% >BG	95	67	40,9	87	99	98	99
	Median	8	1	0,5	4	42	12	350
	90%	28	7	1,3	40	121	44	860
	95%	43	11	3	62	176	56	1150
1969-1978	Gesamt N	470	467	462	460	407	483	265
	% >BG	95	59	41	84	99	96	99
	Median	8	1	0,5	3	44	8	320
	90%	28	5	2	29	124	32	1160
	95%	44	9	6,9	55	178	48	1740
1979-1983	Gesamt N	298	297	292	296	123	305	246
	% >BG	89	75	39	78	97	95	99,6
	Median	9	1	0,5	2	39	9	270
	90%	35	11	1	21	74	42	840
	95%	58	22	2	50	95	66	1100
1984-1994	Gesamt N	230	226	224	227	114	226	150
	% >BG	95	56	36	83	98	96	100
	Median	8	1	0,5	2	29	7	270
	90%	36	4	1	21	71	37	737
	95%	53	8	1,5	45	85	95	1177

Baualter-klasse	Kennwerte	Stoffe						
		Toluol µg/m ³	Styrol µg/m ³	Naphthalin µg/m ³	a-Pinen µg/m ³	Formaldehyd µg/m ³	n-Hexanal µg/m ³	TVOC µg/m ³
1995-2001	Gesamt N	210	207	207	200	398	210	144
	% >BG	88	74	45	88	99	98	100
	Median	7	1	0,5	5	40	12	335
	90%	38	7	0,9	59	76	62	1181
	95%	52	19	1,6	67	85	92	1797
2002-2006	Gesamt N	190	191	189	191	233	194	113
	% >BG	97	76	43	88	83	97	100
	Median	7	1	0,5	5	19	10	330
	90%	24	18	1	105	53	44	1480
	95%	50	42	1	190	59	87	3100
ab 2007	Gesamt N	816	817	814	795	192	825	548
	% >BG	96	72	26	92	98	98	100
	Median	7,3	3,1	0,5	12	31	20	620
	90%	36	22	1	139	88,8	89	2250
	95%	56	35	1,5	223	115	123	3165
Gesamt	Gesamt N	3664	3652	3619	3591	2035	3725	2505
	% >BG	95	64	38	88	97	97	99,8
	Median	7	1	0,5	4	35	11	360
	90%	30	12	1,2	68	81	55	1572
	95%	51	21	3	130	113	91	2398

Während die Unterschiede innerhalb der Baualtergruppen für Toluol eher gering waren bzw. tendentiell in Gebäuden älterer Baujahre weniger Toluol gefunden wurde, waren die Styrolkonzentrationen in der Baualterklasse ab 2007 am höchsten. Für Naphthalin waren die Perzentile P90 und P95 in den Baualterklassen „vor 1918“ und „1919-1948“ am höchsten. Die Mediane lagen in allen Baualterklassen unterhalb der BG.

α-Pinen wies in neuen Gebäuden (Baualterklassen „2002 bis 2006“ und „ab 2007“) höhere Konzentrationen als in älteren Gebäuden auf.

Für Formaldehyd wurden die niedrigsten Perzentile in der Gruppe „2002 bis 2006“ und die höchsten Konzentrationen in der Altersgruppe 1969 bis 1979 gemessen. Ähnlich hohe Werte lagen auch in der Baualterklasse „1959 bis 1968“ vor. Die Gebäude „ab 2007“ wiesen etwas höhere Perzentile als in der Gesamtstichprobe und deutlich höhere Werte als in der Altersklasse „2002 bis 2006“ auf.

Für Hexanal wurden die niedrigsten Werte bei den Baujahren 1949 bis 1959 und 1984 bis 1994 ermittelt, die höchsten Werte erreichten die jüngsten Gebäude ab 2007.

9.9 Vergleich der VOC-Konzentrationen für verschiedene Energieklassen

Unter Bezugnahme auf die von Schulze Darup vorgeschlagene Systematik, dargestellt in Tabelle 16, wurden Energieklassen abgeleitet.

Tabelle 16 Vorschlag für die Bildung von vereinfachten Gebäudekategorien (ohne Berücksichtigung teilsanierter Gebäude) für Wohngebäude anhand des Heizwärmebedarfs nach Burkhard Schulze Darup.

Heizwärmebedarf	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus
- Baujahre bis 1977	200 – 250 kWh/(m ² a)	140 – 200 kWh/(m ² a)
- Baujahr 1978 bis 1994	100 – 220 kWh/(m ² a)	80 – 160 kWh/(m ² a)
- Baujahr 1995 bis 2008	60 – 120 kWh/(m ² a)	50 – 100 kWh/(m ² a)
- Baujahr ab 2009	30 – 70 kWh/(m ² a)	20 – 60 kWh/(m ² a)
- Niedrigenergiehäuser		
- Sanierete Gebäude mit Zu-/Abluft mit WRG		
- Passivhäuser	15 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)

Für die Auswertung wurde die Bildung der Gruppen unter Berücksichtigung der Merkmale Baualtersklasse, Modernisierung und Lüftungsart an die zur Verfügung stehenden Daten angepasst.

Auf der Grundlage der vorgeschlagenen Kategorisierung und der zur Verfügung stehenden Daten wurden die nachfolgenden Gruppen gebildet (ohne Berücksichtigung der Nutzungsart):

- Baujahre bis 1977
Fensterlüftung keine Modernisierung
- Baujahre 1978 bis 1994
Fensterlüftung keine Modernisierung
- Baujahre 1995 bis 2006
Fensterlüftung keine Modernisierung
- Baujahre vor 2007 mit Modernisierung unterteilt in Räume mit Fensterlüftung (vor07 Mod Fenster) oder technischer Lüftung (vor07 Mod LA)
- Passivhaus
Passivhausstandard mit kontrollierter Be- und Entlüftung
- Baujahre ab 2007 unterteilt in alle Gebäude mit Fensterlüftung oder technischer Lüftung, modernisierte Gebäude mit Fensterlüftung oder technischer Lüftung und nicht modernisierte Gebäude mit Fensterlüftung oder technischer Lüftung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Perzentile P50, P90 und P95 in den gebildeten Gruppen exemplarisch für den TVOC (Abbildung 38) und für Formaldehyd (Abbildung 39).

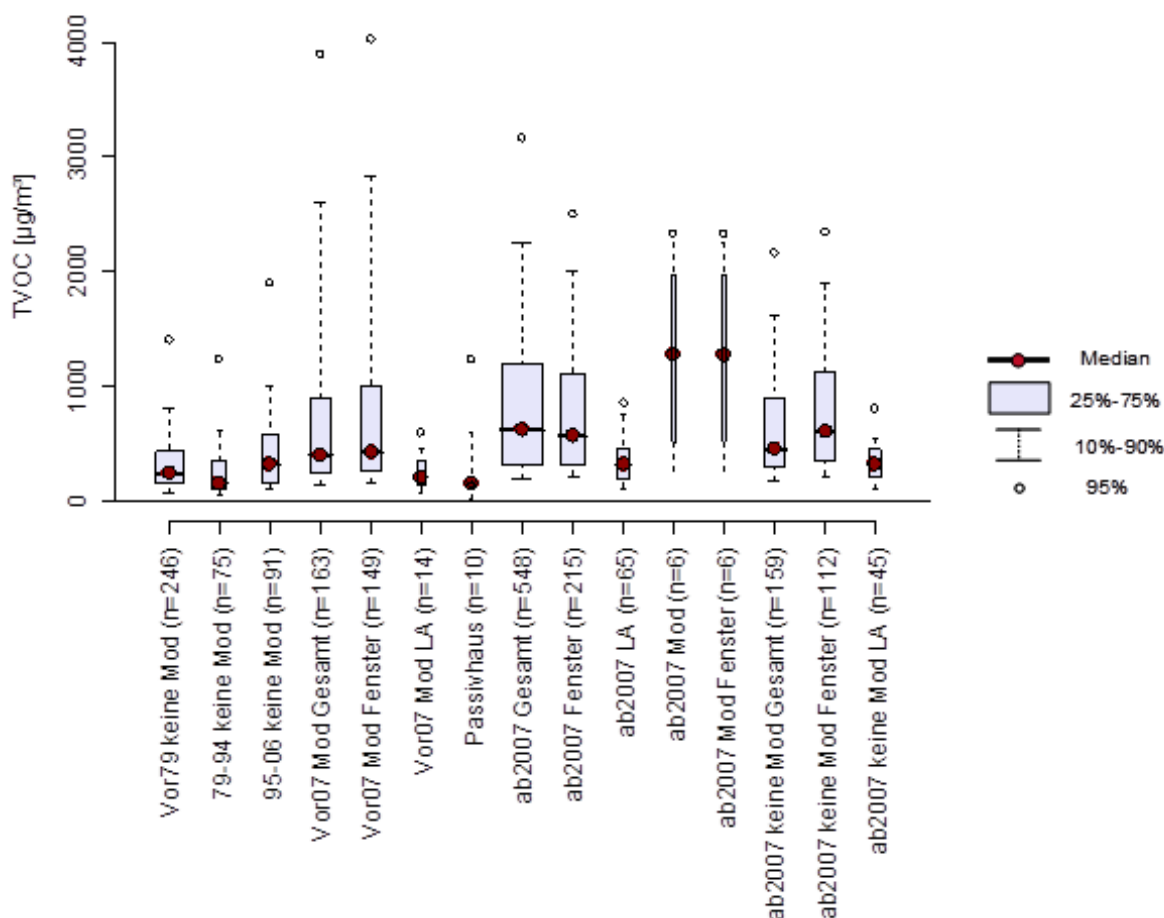


Abbildung 38 Median, 90. und 95. Perzentile der TVOC-Konzentrationen für die Energieklassen (Baujahre) und Lüftungstypen. Mod=Modernisierung; Fenster=Fensterlüftung, LA=Lüftungsanlage

Die höchsten Perzentilwerte wurden für die Teilgruppen „modernisierte Gebäude der Baualtersgruppen vor 2007 alle Gebäude“ und „modernisierte Gebäude der Baualtersgruppen vor 2007 mit Fensterlüftung“ ermittelt. In der Teilgruppe „modernisierte Gebäude der Baualtersgruppen vor 2007 mit technischer Lüftung“ lag die Anzahl der Messwerte nur bei 14. Die hier ermittelten TVOC-Werte lagen deutlich unter den Werten in der Teilgruppe mit Fensterlüftung. Vergleichsweise niedrige TVOC-Werte lagen auch in den weniger energieeffizienten Gebäuden (ältere Gebäude ohne Modernisierung) und den neuen, energieeffizienten Gebäuden mit technischer Lüftung (Gebäude ab 2007 mit technischer Lüftung und Passivhäuser) vor. Dagegen wurden hohe TVOC-Werte in der Gruppe „Gebäude ab 2007 alle Gebäude“ ermittelt.

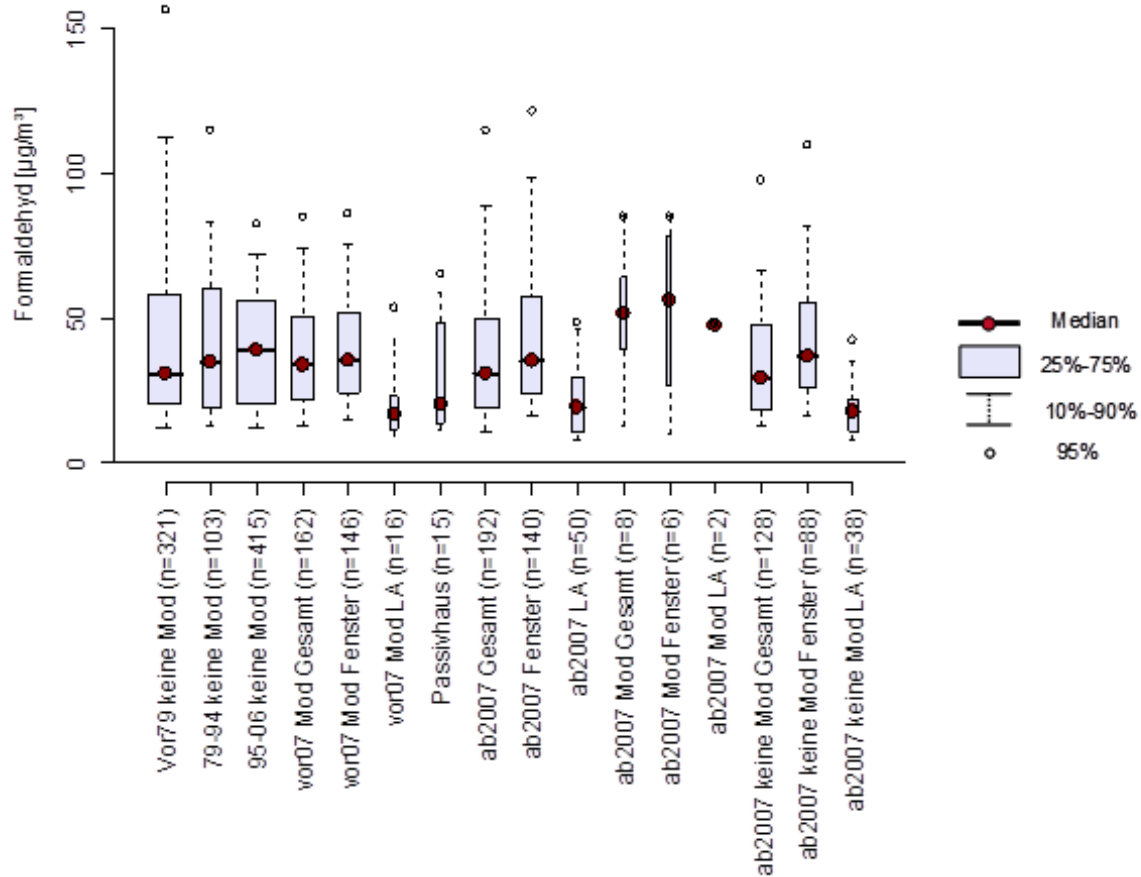


Abbildung 39 Median, 90. und 95. Perzentile der Formaldehydkonzentrationen für die Energieklassen (Baujahre) und Lüftungstypen. Mod=Modernisierung, Fenster=Fensterlüftung, LA=Lüftungsanlage

Für Formaldehyd fällt bei der Darstellung der Perzentile für die entsprechenden Teilgruppen die Teilgruppe „vor 2007 keine Modernisierung“ mit den höchsten Konzentrationen auf. Auch hier erreichen die Teilgruppen mit Lüftungsanlagen die niedrigsten Konzentrationen. Modernisierte Gebäude unterscheiden sich weniger in Bezug auf die Höhe der Perzentile. Vergleichsweise hohe Konzentration wurden auch in neuen Gebäuden ab 2007 (alle Gebäude, Fensterlüftung) gemessen.

Teil B - Teilanalyse der im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Messungen

10. Beteiligte Institute

An der Durchführung der Messungen bzw. der Bereitstellung der Daten beteiligten sich 12 AGÖF-Institute:

ALAB – Analyselabor in Berlin GmbH, AnBUS Analyse und Bewertung von Umweltschadstoffen e.V., Baubiologie und Umweltanalytik in Berlin - Sachverständigenbüro Axel Wichmann, BIOlog Umweltanalytik Dieter Küsters, Bremer Umweltinstitut GmbH, Gebäude-diagnostik Dipl. Chem. Martin Wesselmann, Gesellschaft für Umweltchemie mbH, GFÖB - Geschäftsbereich der Arcadis Deutschland GmbH (heute: ARCADIS GmbH), IMENA – Institut für Mensch und Natur e.V., Lafu - Labor für chemische und mikrobiologische Analytik GmbH, Umwelt- und Gesundheitsinstitut Elke Bruns-Tober, Wartig Nord GmbH Beraten Planen Begutachten.

Um die Qualität der Messungen sicherzustellen, erfüllten die teilnehmenden Institute folgende Auswahlkriterien:

- AGÖF-Mitgliedschaft
- Erfüllung der AGÖF-Qualitätskriterien
- Teilnahme an den AGÖF-Laborvergleichen

Von zwei Instituten wurden jeweils 15 der insgesamt 51 Gebäude beprobt. Alle weiteren teilnehmenden Institute beprobten jeweils weniger als vier Gebäude (Tabelle 17, Abbildung 40).

Tabelle 17 Anzahl und Anteil der Gebäude, die von den jeweiligen Instituten beprobt wurden.

Institut	Anzahl Gebäude	%
B	1	2,0
D	2	3,9
E	2	3,9
F	3	5,9
G	1	2,0
H	3	5,9
J	15	29,4
K	2	3,9
L	1	2,0
M	15	29,4
O	2	3,9
P	4	7,8
Σ	51	100

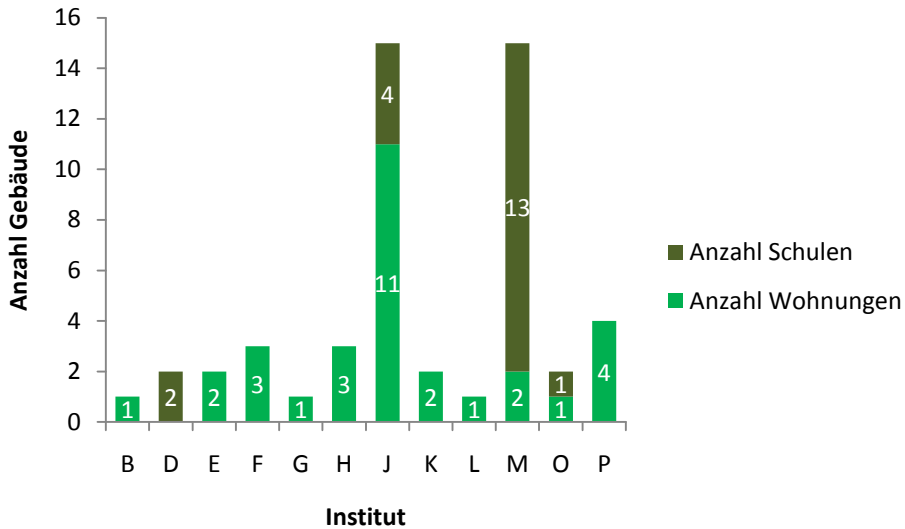


Abbildung 40 Anzahl der Gebäude getrennt nach Wohnungen und Schulen, die von den jeweiligen Instituten beprobt wurden.

11. Auswahl der Gebäude

Die Auswahl der Objekte erfolgte mit dem Ziel, ausreichend große und vergleichbare Teilgruppen bilden zu können. Eine Gleichverteilung der Objekte im Gebiet der BRD wurde angestrebt. Allerdings kam es zu einer inhomogenen Verteilung der Objekte mit einer starken Vertretung der PLZ-Bereiche 2 und 9 und einem Fehlen der PLZ-Bereiche 5 und 6 (Abbildung 41, Tabelle 18).

Tabelle 18 Verteilung und Anteil der Gebäude nach Postleitzahlenbereichen.

PLZ-Bereich	Anzahl Gebäude	%
0	3	5,9
1	3	5,9
2	19	37,3
3	6	11,8
4	4	7,8
7	4	7,8
8	2	3,9
9	10	19,6
Σ	51	100

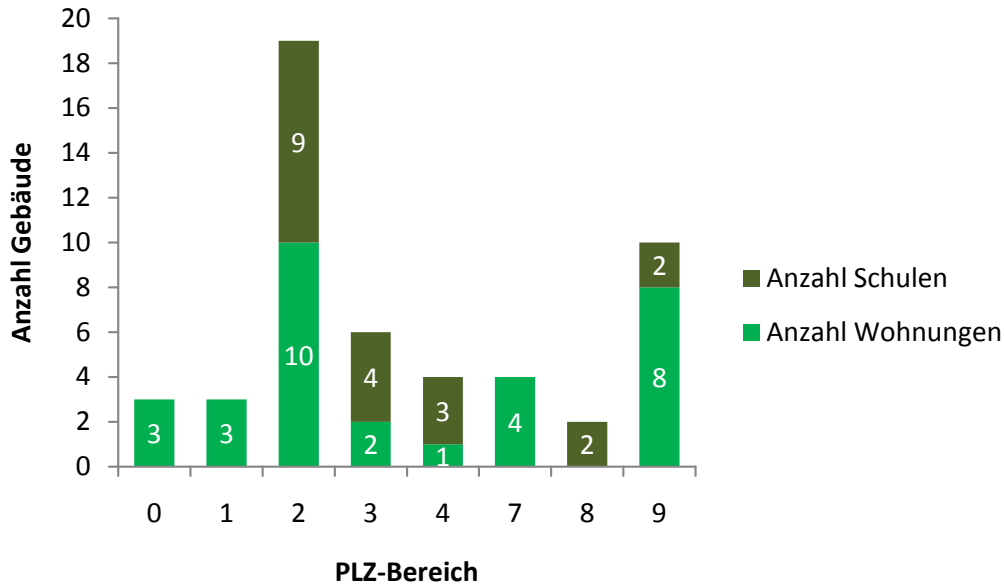


Abbildung 41 Verteilung und Anzahl von Schulen und Wohngebäuden nach Postleitzahlenbereichen.

Für die Auswahl wurde der Gebäudenutzungstyp auf Wohngebäude und Schulen beschränkt. Erfasst und gemessen wurden **51 Gebäude**, davon **20 Schulen** (Tabelle 20) und **31 Wohngebäude** (Tabelle 19), die nachweislich entsprechend einem Energiestandard von 2002 bzw. später errichtet oder saniert wurden. Die Gebäude sollten einen möglichst einheitlichen Zeitpunkt nach der Sanierung, Renovierung oder Neubau aufweisen und mindestens 6 Monate in Betrieb gewesen sein. Es wurden gezielt möglichst viele Gebäude mit Lüftungsanlagen und mit möglichst hohem Energiestandard (z.B. NEH, PH) für die Untersuchung ausgewählt. Die Auswahl der Schulen ergab ein breites Spektrum an verschiedenen Schultypen. Die Wohngebäude unterteilten sich in 20 1-2-Familienhäuser und 11 Mehrfamilienhäuser.

Tabelle 19 Auflistung aller für Teil B ausgewählten Wohngebäude und Angaben zum Gebäudetyp, Energiestandard, Baujahr, Modernisierung und Lüftungstyp.

Wohngebäude	PLZ	Gebäudetyp	Bauweise	Baujahr	letzte Modernisierung	Energiestandard, weitere Standards	Lüftungsanlagenart
Gebäude 01	74	1-2 Familienhaus	Mauerwerksbau	1963	2010	Energieeffizienzhaus, 70 EnEV 2007	LA mit WRG
Gebäude 02	74	MFH	Holztafelbau	1900	2008	Energieeffizienzhaus, 70 EnEV 2007	Fenster
Gebäude 03	74	1-2 Familienhaus	Mauerwerksbau	2009	2009	Energieeffizienzhaus 70 EnEV 2007	LA
Gebäude 04	10	MFH	Mauerwerksbau	1900	2007	Energieeffizienzhaus, Jahresprimärenergiebedarf 328656 kWh/a	Fenster
Gebäude 05	37	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2002-2006	2007	Jahresprimärenergiebedarf 141,3 kWh/m²a	Fenster
Gebäude 06	37	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2003	2003	Mindestens ENEV 2002	LA mit WRG
Gebäude 07	48	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2004		Energieeffizienzhaus, KfW, Jahresprimärenergiebedarf 42,2 kWh/m²a	LA mit WRG
Gebäude 08	27	1-2 Familienhaus	Mauerwerksbau	2008		Jahresprimärenergiebedarf 110,19 kWh/m²a	Fenster
Gebäude 09	20	MFH	Stahlbetonbau	2003		Passivhaus	LA mit WRG
Gebäude 10	20	MFH	Stahlbetonbau	2003		Passivhaus	LA
Gebäude 11	90	MFH	Mauerwerksbau	2009		Passivhaus	LA
Gebäude 12	91	1-2 Familienhaus	Mauerwerksbau	2002		Passivhaus	LA mit WRG
Gebäude 13	96	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2009		Energieeffizienzhaus, DENA	Fenster
Gebäude 14	91	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	ab 2007		Mindestens ENEV 2002	LA mit WRG
Gebäude 15	90	MFH	Mauerwerksbau	1897	2003	Mindestens ENEV 2002, schadstoffarm	LA mit WRG
Gebäude 16	96	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	1996		Mindestens ENEV 2002	LA mit WRG
Gebäude 17	75	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	ab 2007		Mindestens ENEV 2002	LA
Gebäude 18	07	1-2 Familienhaus	Mauerwerksbau	2006		Mindestens ENEV 2002	Fenster

Wohngebäude	PLZ	Gebäudetyp	Bauweise	Baujahr	letzte Modernisierung	Energiestandard, weitere Standards	Lüftungsanlagenart
Gebäude 19	07	1-2 Familienhaus	Mauerwerksbau	2007		Mindestens ENEV 2002	Fenster
Gebäude 20	90	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2001	2001	Mindestens ENEV 2002, schadstoffarm	Fenster
Gebäude 21	90	MFH	Mauerwerksbau	1959		Passivhaus	LA mit WRG
Gebäude 22	12	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2007		Energieeffizienzhaus, DENA, Jahresprimärenergiebedarf 37,4 kWh/m ² a	LA mit WRG
Gebäude 23	15	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2009		Energieeffizienzhaus, DENA, Jahresprimärenergiebedarf 24 kWh/m ² a	Fenster
Gebäude 24	01	MFH	Mauerwerksbau	1967	2008	Mindestens ENEV 2002	Fenster
Gebäude 25	28	1-2 Familienhaus	Mauerwerksbau	1976	2010	Energieeffizienzhaus, KfW 30	LA mit WRG
Gebäude 26	27	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2009	2009	Energieeffizienzhaus, KfW 40	LA mit WRG
Gebäude 27	27	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2007	2007	Energieeffizienzhaus, KfW 40	LA
Gebäude 28	28	1-2 Familienhaus	Holztafelbau	2007	2007	Mindestens ENEV 2002, schadstoffarm	LA
Gebäude 29	22	MFH	Mauerwerksbau	2009		Energieeffizienzhaus, KfW, Jahresprimärenergiebedarf 50,5 kWh/m ² a	LA
Gebäude 30	22	MFH	Mauerwerksbau	2009		Energieeffizienzhaus, KfW, Jahresprimärenergiebedarf 52,1 kWh/m ² a	LA
Gebäude 31	22	MFH	Mauerwerksbau	1949-1958	2008	Energieeffizienzhaus, KfW, Jahresprimärenergiebedarf 45,18 kWh/m ² a	Fenster

Tabelle 20 Auflistung aller für Teil B ausgewählten Schulen und Angaben zum Schultyp, Energiestandard, Baujahr, Modernisierung und Lüftungstyp.

Schulen	PLZ	Bauweise	Baujahr	Letzte Modernisierung	Energiestandard	Lüftungsanlagenart	Schultyp
Schule 01	37	Mauerwerksbau	1963	2010	Mindestens ENEV 2002	Fenster	Grundschule
Schule 02	37	Holztafelbau	1969-1978	2008	Mindestens ENEV 2002	Fenster	Grundschule
Schule 03	26	Stahlbetonbau	1969	2001	Mindestens ENEV 2002	Fenster	Gymnasium
Schule 04	27	Mauerwerksbau	2009		Mindestens ENEV 2002	LA	Gymnasium
Schule 05	27	Mauerwerksbau	2002-2006		Mindestens ENEV 2002	Fenster	Haupt- und Realschule
Schule 06	26	Stahlbetonbau	1969	2008	Mindestens ENEV 2002	Fenster	Berufsbildende Schule
Schule 07	49	Stahlbetonbau	2009		Mindestens ENEV 2002	LA	Gymnasium
Schule 08	49	Stahlbetonbau	2009		Mindestens ENEV 2002	LA	Gymnasium
Schule 09	21	Holztafelbau	2008		Mindestens ENEV 2002	Fenster	Grundschule
Schule 10	21	Stahlbetonbau	1969-1978	2008	Mindestens ENEV 2002	Fenster	Haupt- und Realschule
Schule 11	49	Stahlbetonbau	1979-1983		Mindestens ENEV 2002	Fenster	Berufsbildende Schule
Schule 12	21	Mauerwerksbau	2007		Mindestens ENEV 2002	Fenster	Gymnasium
Schule 13	21	Mauerwerksbau	1969-1978	2009	Mindestens ENEV 2002	Fenster	Gymnasium
Schule 14	38	Mauerwerksbau	1961	2009	Mindestens ENEV 2002	Fenster	Grundschule
Schule 15	38	Stahlbetonbau	1971	2009	Mindestens ENEV 2002	Fenster	Gesamtschule
Schule 16	91	Mauerwerksbau	1960	2010	Mindestens ENEV 2002	LA mit WRG	Grundschule
Schule 17	81	Mauerwerksbau	1982	2010	Mindestens ENEV 2002	LA	Berufsbildende Schule
Schule 18	91	Mauerwerksbau	2002	2002	Passivhaus	LA mit WRG	Berufsbildende Schule
Schule 19	82	Holztafelbau	2008		Mindestens ENEV 2002	LA mit WRG	Haupt- und Realschule
Schule 20	20	Stahlbetonbau	2009		Energieeffizienzhaus, KfW,	Fenster	Grundschule

12. Zusatzinformationen

12.1 Angaben zum Gebäude

12.1.1 Bauweise

Bei den Gebäuden handelte es sich um drei verschiedene Bauweisen (Mauerwerksbau, Stahlbetonbau und Holztafelbau). Sie waren in relativ ähnlichen Anteilen bei den Gebäuden vertreten, mit einer leichten Gewichtung zum Mauerwerksbau (Tabelle 21, Abbildung 42). Ein Drittel der Gebäude war in Leichtbauweise (Holztafelbau), alle anderen in Massivbauweise (Mauerwerksbau und Stahlbetonbau) errichtet.

Tabelle 21 Anzahl und Anteil der Gebäude an den verschiedenen Bautypen.

Bautyp	Anzahl Gebäude	%
Mauerwerksbau	24	47,06
Stahlbetonbau	10	19,61
Holztafelbau	17	33,34
Σ	51	100

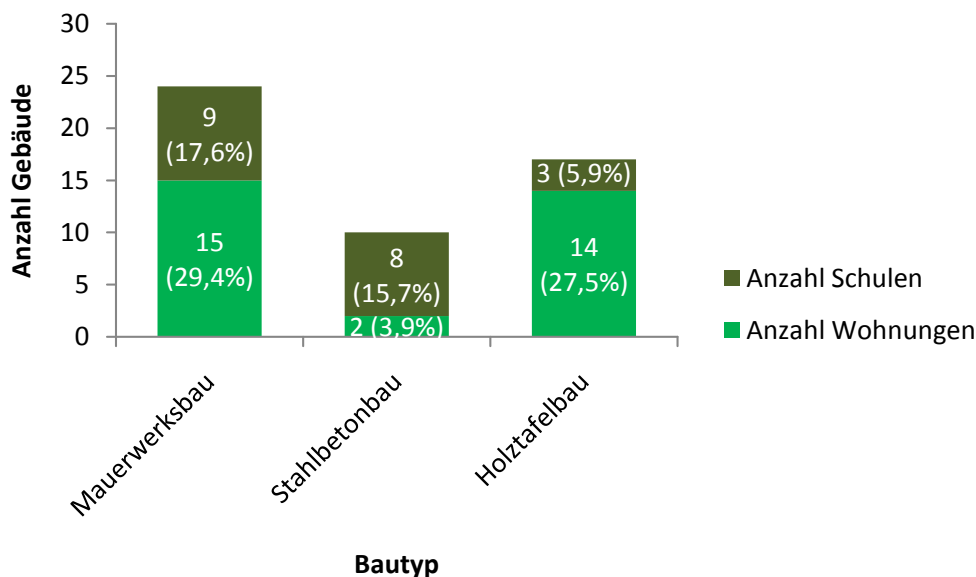


Abbildung 42 Anzahl und Anteil (in Klammern) der Gebäude an den verschiedenen Bautypen unterteilt nach Schulen und Wohngebäuden.

Unterteilt nach der Art der Gebäudenutzung dominierten Mauerwerksbau und Holztafelbau bei Wohngebäuden, während Schulgebäude häufig Mauerwerksbau oder Stahlbetonbau waren.

12.1.2 Altersklasse

Von 42 Gebäuden lagen Daten zum genauen Baujahr vor, von allen Gebäuden gab es Angaben zur Altersklasse (Tabelle 22, Abbildung 43). Fast 40 % der Gebäude wurden nach 2007 gebaut. Circa die Hälfte der Gebäude (~60 %) wurde nach 2002 gebaut.

Modernisierungen wurden bei 21 Gebäuden durchgeführt, 30 Gebäude zählten als Neubau mit einem Baujahr ab 2002.

Tabelle 22 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach Altersklassen.

Altersklasse	Anzahl Gebäude	%
vor 1918	3	5,9
1949 bis 1958	1	2,0
1959 bis 1968	6	11,8
1969 bis 1978	7	13,7
1979 bis 1983	2	3,9
1995 bis 2001	2	3,9
2002 bis 2006	10	19,6
ab 2007	20	39,2
Σ	51	100

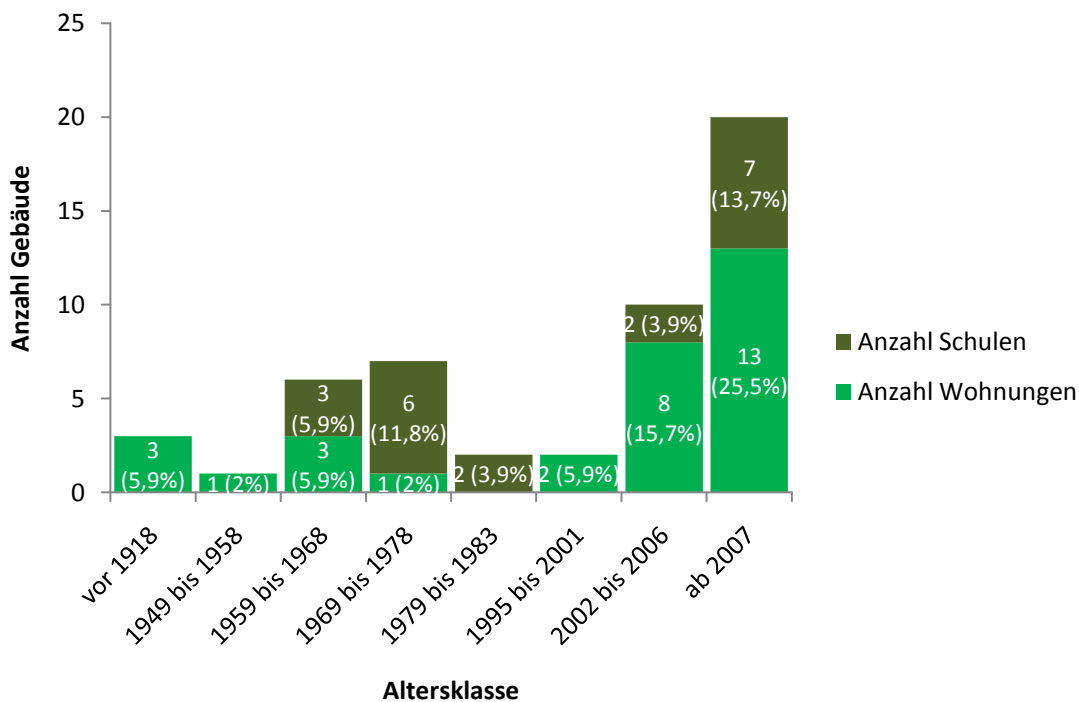


Abbildung 43 Anzahl und Anteil (in Klammern) der Wohn- und Schulgebäude unterteilt nach Altersklassen.

12.1.3 Neubau/Modernisierung

Getrennt nach Wohn- und Schulgebäuden betrachtet (Tabelle 23) war der Anteil von Neubauten bei den Wohngebäuden leicht dominierend, während bei den untersuchten Schulgebäuden modernisierte Gebäude und Neubauten in etwa gleich häufig vertreten waren.

Tabelle 23 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach Modernisierung und Neubau.

	Anzahl Wohnungen	Anzahl Schulen	Σ	%
Modernisierung	11	10	21	41,2
Neubau	9	21	30	58,8
Σ	20	31	51	100

12.1.4 Energiestandard

Einige der ausgewählten Gebäude wiesen besondere „Qualitätsmerkmale“ auf (Tabelle 24). Sechs der Gebäude waren Passivhäuser, 15 Energieeffizienzhäuser und drei Gebäude wurden besonders schadstoffarm gebaut.

Tabelle 24 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach Energiestandards und Baubesonderheiten. Prozentualer Anteil bezogen auf die Anzahl der Gebäude insgesamt.

	Anzahl Schulen	Anzahl Wohnungen	Σ	%
Passivhaus	1	5	6	11,8
Energieeffizienzhaus	1	14	15	29,4
Schadstoffarm		3	3	5,9
Σ	2	22	24	47,1

12.1.5 Anzahl Geschosse

Mehr als die Hälfte der Gebäude verfügte über zwei, und nur wenige über mehr als vier Geschosse (Tabelle 25).

Tabelle 25 Anzahl Gebäude mit angegebener Geschossanzahl.

Anzahl Geschosse	Anzahl Gebäude
1	5
2	26
3	7
4	9
5	2
6	1
7	1

12.2 Angaben zum Raum

12.2.1 Fußbodenbelag

Der dominierende Fußbodenbelag in Wohngebäuden war Vollholz, während in Schulen häufiger Kunststoff- oder Linoleumbelag verlegt wurde (Tabelle 26).

Tabelle 26 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach Bodenbelag.

Bodenbelag	Anzahl Wohnräume	Anzahl Schulräume	Σ	%
Teppichboden, verklebt	2	2	4	7,8
Teppichboden, nicht verklebt	4	0	4	7,8
Kunststoffbelag	1	7	8	15,7
Linoleum	3	8	11	21,6
Laminat	2	0	2	3,9
Vollholz (z.B. Parkett)	18	3	21	41,2
Fliesen	1	0	1	2,0
Σ	31	20	51	100

12.2.2 Wand

Wandoberflächen in Wohn- und Schulräumen (Tabelle 27) wurden sehr häufig mit Putz und Farbe verarbeitet. In Wohngebäuden kam zusätzlich häufig die Verkleidung mit Tapete vor.

Tabelle 27 Anzahl der Schul- und Wohngebäude und der Gesamtgebäude unterteilt nach Wandverkleidung.

Wand	Anzahl Wohnräume	Anzahl Schulräume	Σ	%
Putz/Farbe	23	18	41	80,4
Tapete: Papier/Raufaser	7	1	8	15,7
Tapete: Kunststoff	1	1	2	3,9
Σ	31	20	51	100

12.2.3 Decke

Die dominierende Verkleidung der Decke (Tabelle 28) unterschied sich stark zwischen Wohn- und Schulräumen. In Wohnräumen dominierten Putz und Farbe, während in Schulräumen häufig Akustikplatten als Deckenverkleidung eingesetzt wurden.

Tabelle 28 Anzahl der Schul- und Wohngebäude und der Gesamtgebäude unterteilt nach der Verkleidung der Decke.

Decke	Anzahl Wohnräume	Anzahl Schulräume	Σ	%
Putz/Farbe	20	2	22	43,1
Akustikplatte	0	15	15	29,4
Tapete: Papier/Raufaser	7	0	7	13,7
Holzverkleidung	4	3	7	13,7
Σ	31	20	51	100

12.2.4

12.2.5 Renovierung

In den meisten Wohn- und Schulräumen gab es in den letzten 5 Jahren keine Renovierungsmaßnahmen. Durchgeführte Renovierungsmaßnahmen mit einer Auflistung von Mehrfachnennungen können Tabelle 29 entnommen werden.

Tabelle 29 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach der Art der Renovierung.

Renovierungen	Anzahl Wohnräume	Anzahl Schulräume	Σ	%
keine in den letzten 5 Jahren	19	11	30	58,8
Neue Produkte/Möbel	1	1	2	3,9
Fußboden	1	0	1	2,0
Fußboden; Neue Produkte/Möbel	1	0	1	2,0
Wände/Decken	0	3	3	5,9
Wände/Decken;Belag	0	1	1	2,0
Wände/Decken;Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen;Neue Produkte/Möbel	0	1	1	2,0
Wände/Decken;Fußboden;Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen;Neue Produkte/Möbel	0	1	1	2,0
Wände/Decken;Fußboden;Belag;Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen	1	0	1	2,0
Wände/Decken;Fußboden;Belag;Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen;Neue Produkte/Möbel	0	1	1	2,0
Wände/Decken;Fußboden;Belag;Unterboden;Anstrich: Fenster/Heizkörper/Türen;Neue Produkte/Möbel	5	1	6	11,8
Wände/Decken;Fußboden;Belag;Unterboden;Neue Produkte/Möbel	1	0	1	2,0
keine Angaben	2	0	2	3,9
Σ	31	20	51	100

Der Großteil der vorgenommenen Renovierungen liegt länger als 2 Jahre zurück (Tabelle 30).

Tabelle 30 Anzahl der Schul- und Wohngebäude und Gesamtgebäude unterteilt nach dem Zeitpunkt der Renovierung.

Renovierung, Wann	Anzahl Wohnräume	Anzahl Schulräume	Σ
vor 6 Wochen bis 3 Monaten	0	1	1
vor 6 bis 12 Monaten	1	1	2
vor 1 bis 2 Jahren	3	3	6
vor 2 bis 5 Jahren	7	5	12
Σ	11	10	21

12.2.6 Raumsituation

Die Angabe spezifischer Raumbesonderheiten war eine freiwillige Angabe. In drei Räumen wurde Baufeuchte und in zwei Räumen Schimmelbefall als vorhanden registriert (Tabelle 31).

Tabelle 31 Anzahl der Schul- und Wohngebäude mit besonderer Raumsituation.

Raumsituation	Anzahl Wohnräume	Anzahl Schulräume	Σ
Baufeuchte	1	2	3
Schimmel	2	0	2
Σ	3	2	5

12.2.7 Belüftung

Die dominierende Lüftungsart in den Schulräumen war die Fensterlüftung (Tabelle 32). In sieben Fällen war in Schulräumen eine technische Lüftungsanlage vorhanden. Mehr als die Hälfte der untersuchten Wohngebäude besaß technische Lüftungsanlagen, und in nur elf Fällen gab es Räume, die ausschließlich durch Fenster belüftet wurden.

Tabelle 32 Anzahl der Schul- und Wohngebäude mit Fensterlüftung und technischen Lüftungsanlagen.

Belüftung	Anzahl Wohnräume	Anzahl Schulräume	Σ
Fensterlüftung	11	13	24
Zu-/Abluftanlage; Zuluftaum	18	3	21
Zu-/Abluftanlage; Abluftaum	2	3	5
Abluftanlage	0	1	1
Σ	31	20	51

12.2.8 Luftwechselraten

In den untersuchten Räumen wurden Luftwechselraten (Tabelle 33) mit der CO₂ Abklingmethode oder mit der SF₆ Abklingmethode gemessen. Die Werte betragen zwischen 0,02 /h und 2,56 /h mit einem Mittelwert von 0,39 /h \pm 0,45 (Standardabweichung).

Die Luftwechselraten unterschieden sich im Mittel kaum zwischen Schulen und Wohnungen, aber der Maximalwert war bei Schulen größer als in Wohngebäuden.

Tabelle 33 Statistische Kennwerte der Luftwechselraten [/h] für Schulräume, Wohnräume und alle Gebäude.

Luftwechselrate	Schulraummessungen	Wohnraummessungen	Gesamt
MW \pm SD	0,40 \pm 0,61	0,38 \pm 0,31	0,39 \pm 0,45
Min	0,04	0,02	0,02
Max	2,56	1,40	2,56

Signifikante Unterschiede (t-Test; $p < 0,00001$; $F = 26,83$; $df = 98$) der Luftwechselraten (Abbildung 44) bestanden zwischen Räumen mit Fensterlüftung (LWR = 0,130 /h \pm 0,099) und technischen Lüftungsanlagen (LWR = 0,629 /h \pm 0,514).

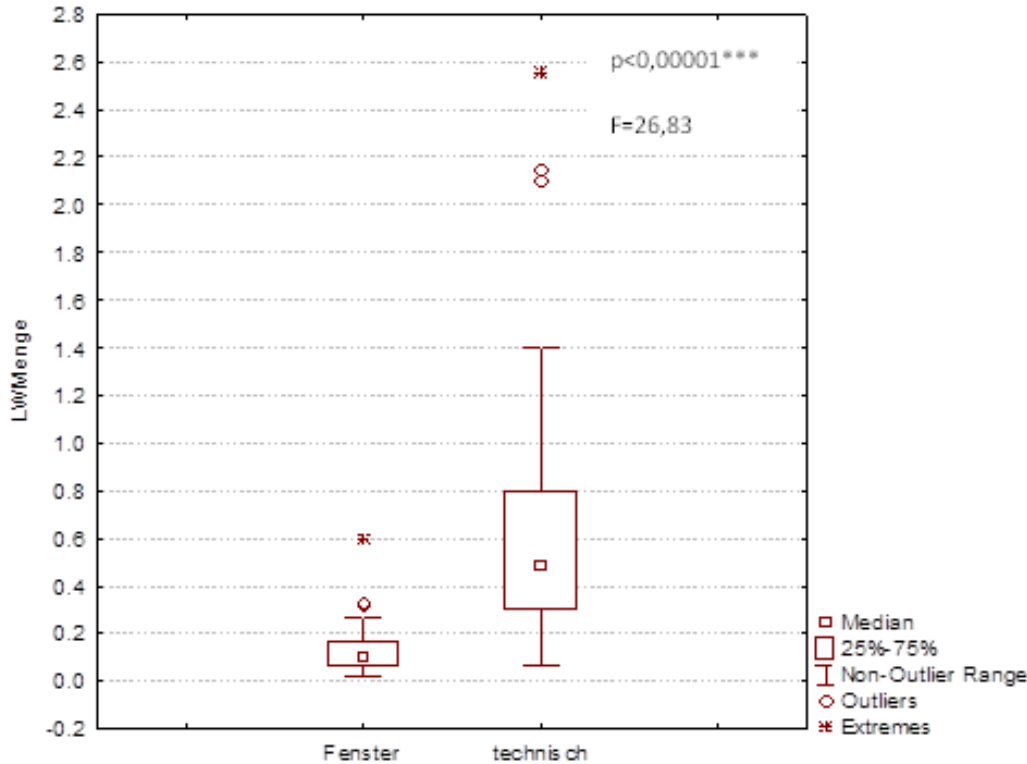


Abbildung 44 Luftwechselrate (LWR) in Räumen mit Fensterlüftung und technischen Lüftungsanlagen. ***=hochsignifikant verschieden, Ergebniss des t-Test.

12.3 Besondere Zusatzinformationen

Die Objekte wurden fotografisch dokumentiert. Um mögliche Emissionsquellen zu identifizieren wurden Zusatzinformationen über Gebäude und Räume in vorgegebenen Fragebögen erfasst. Von den insgesamt 51 Gebäuden fehlen unterschiedlich viele Angaben, da bestimmte Informationen beim Gebäudeeigentümer nicht vorlagen. Aufgrund der Heterogenität der vorgelegten Angaben zur energetischen Qualität der Gebäude erfolgte eine Gruppierung in Energieeffizienzklassen anhand des Gebäudetyps und der Baualtersklasse.

Ergänzende Zusatzinformationen zu den Wohngebäuden:

Von allen 31 Wohngebäuden liegen Angaben über die Umgebung des Gebäudes vor, für 12 Gebäude gibt es Angaben über nahe gelegene Emissionsquellen. Der genauer spezifizierte Gebäudetyp (Kategorien siehe Anhang Teil B) wurde bei 20 Wohngebäuden angegeben. Über den Energiestandard des Wohngebäudes liegen für 24 Gebäude weitergehende Informationen vor. Angaben zur Gebäudetechnik variieren in ihrer Anzahl zwischen den Unterkategorien. Über die Heizungsanlagenart liegen von 15 Gebäuden Informationen vor, über die Art des Heizenergieträgers von 17 Gebäuden und über das Baujahr der Heizungsanlage von 14 Gebäuden. Angaben zur Wärmeverteilung liegen von 19 Gebäuden, zur Art der Lüftung von 19 Gebäuden und zur Lüftungsanlagenart von 20 Gebäuden vor. Kein Gebäude verfügte über eine Kühlungsanlage. Die Nennung der Raumgröße lag bei 20 Räumen vor. Zur Lage der Räume im Gebäude gab es keine Angaben. Die Art der Raumbelüftung wurde für 26 Räume angegeben, die Art der Wärmeverteilung für 30 Räume. Von den meisten Räumen existieren genaue Angaben zum Fensterstandard (19 Räume), zur Art der Türoberflächen (19 Räume), zum Fußbodenaufbau (31 Räume) und zum Bodenbelag (19 Räume), zur Verkleidung der Wände (30 Räume) und der Decke (13 Räume) sowie zur Art der dominierenden Möblierung (28 Räume). Da Reinigungsmittel flüchtige Substanzen enthalten, wurden Angaben zur Reinigung erfragt. Von 19 Räumen gibt es Informationen zur Art der Reinigung, über 15 Räume zur Häufigkeit und über 10 Räume mit welchen Produkten hauptsächlich gereinigt wurde.

Ergänzende Zusatzinformationen zu den Schulgebäuden:

Wie bei den Wohngebäuden gibt es auch für alle Schulen Informationen über die Gebäudeumgebung. Für fünf Schulen wurden Emissionsquellen in der unmittelbaren Umgebung angegeben. Informationen über die Schultypen liegen für alle Schulgebäude vollständig vor und sind in Tabelle 20 aufgelistet. Von 12 Schulgebäuden gibt es Angaben zur Geschossanzahl und von sieben Gebäuden zur Zahl der Klassenräume insgesamt. Informationen zum Energiestandard der Schulgebäude konnten nur für vier Gebäude ermittelt werden, wobei es nur für die Schulen Nr. 14, 15 und 20 weitestgehend vollständige Angaben gibt. Ebenso unvollständig waren Angaben zur Art der Heizungsanlage und zum Baujahr (vier Schulen) und zum Heizenergieträger (drei Schulen). Angaben zur Wärmeverteilung, Art der Warmwasserbereitung, Art der Lüftung und Art der Lüftungsanlage gibt es jeweils von sieben, vier, neunzehn und sieben Schulen. Keine der Schulen wies eine Klimaanlage auf. Die Anzahl und das Alter der Schüler wurden bei acht Schulen angegeben, die tägliche Nutzungsdauer ist bei sechs Schulen und die Raumgröße bei sieben Schulen bekannt. Über die Art der Raumbelüftung gibt es von neun Schulen Informationen, über die Art der Wärmeverteilung im Raum von 12 Schulen. Über die Ausstattung der Innenräume gibt es von je acht Räumen Angaben zu den Türoberflächen, dem Fensterstandard und dem Fußbodenaufbau. Die dominierende Form der Wandverkleidung, Deckenverkleidung und Möblierung wurde jeweils für 18, 15 und 12 Räume angegeben. Von fünf Schulen sind die Art der dominierenden Reinigung, von drei Schulen die Reinigungsmittel und von vier Schulen die Häufigkeit der Reinigung bekannt.

12.4 Probenahmebedingungen

Es wurden 20 Schulgebäude und 31 Wohngebäude ausgewählt. In Schulgebäuden wurden standardisiert nur Klassenräume und in Wohngebäuden nur Schlafräume (bei Familien mit Kindern die Schlafräume der Eltern) gemessen. Pro Gebäude wurde ein geeigneter Raum zu zwei unterschiedlichen Terminen (Abbildung 45, Abbildung 46; Erstmessung, Wiederholungsmessung) mit einem Zeitabstand von 114 bis 276 Tagen im Zeitraum vom 19.06.2010 bis 07.03.2012 beprobt. Aufgrund von Mieterwechseln konnten in 2 Wohnräumen keine Wiederholungsmessungen durchgeführt werden (Gebäude10 und 21).

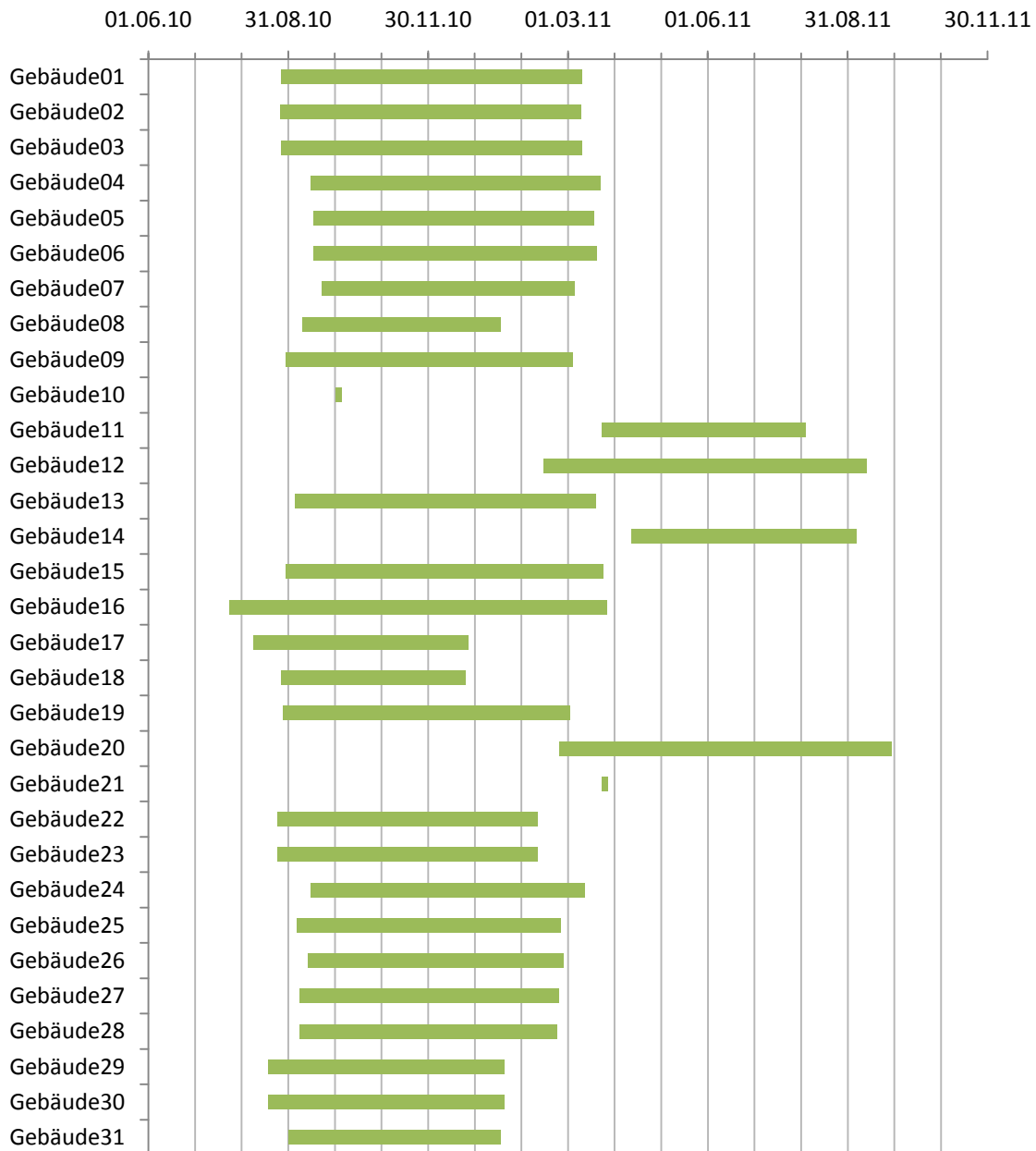


Abbildung 45 Termine der Erst- und Zweitmessungen für alle 31 untersuchten Wohngebäude. Für Gebäude 10 und 21 liegt nur eine Erstmessung vor.

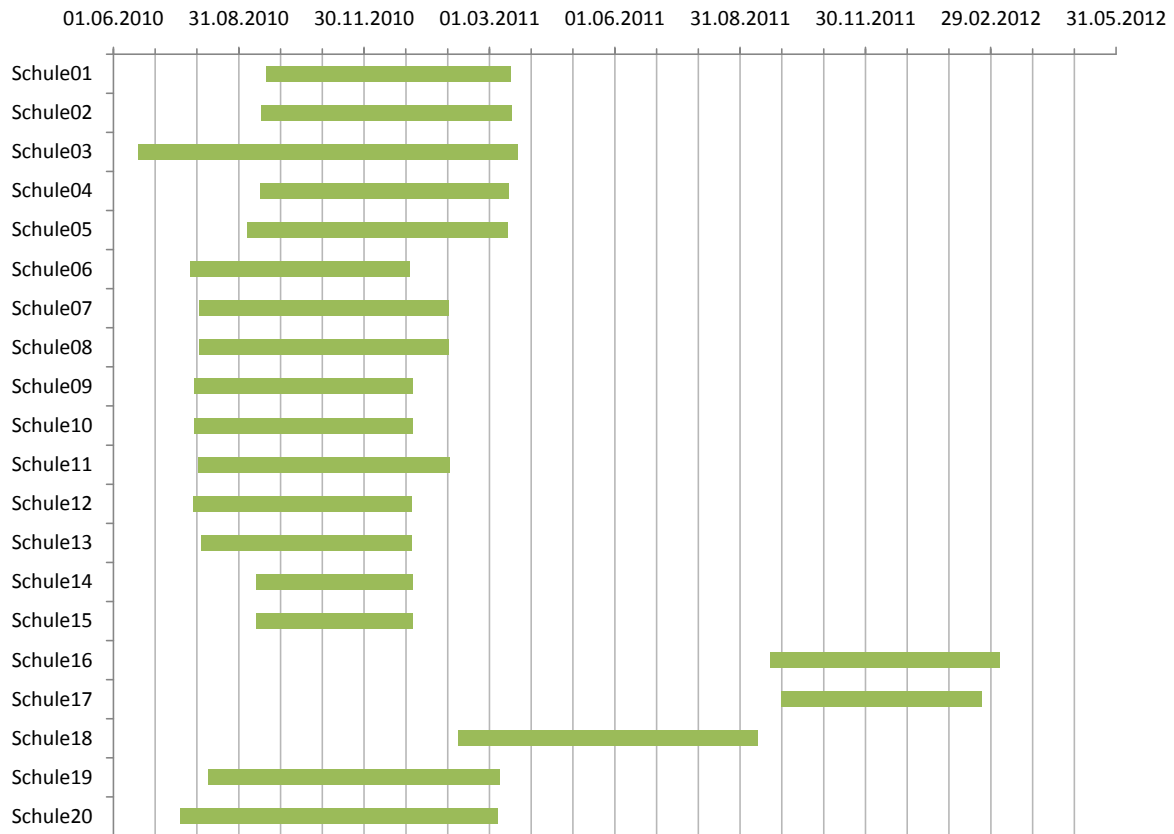


Abbildung 46 Termine der Erst- und Zweitmessungen für alle 20 untersuchten Schulgebäude.

Für die Durchführung der Messungen wurden Vorgaben zur Standardisierung der Lüftungssituation sowie des Reinigungs- und Nutzungsabstandes in Schulen und Wohngebäuden besprochen und festgelegt (Anlage Teil B). Die Probenahme erfolgte in 55 Fällen in seit mind. 8 h ungelüfteten Räumen (Fensterlüftung) oder bei Vorhandensein einer Lüftungsanlage in 45 Fällen bei Betrieb der Lüftungsanlage. Unterteilt nach Wohngebäuden und Schulgebäuden (Abbildung 47) wurde in jeweils 27 bzw. 28 Fällen nach dem Standard ‚Fensterlüftung‘ gemessen. Aufgrund der hohen Anzahl von Lüftungsanlagen bei Wohngebäuden wurde in diesen in 32 Fällen bei angeschalteter Lüftungsanlage gemessen, und nur in 13 Fällen in Schulgebäuden.

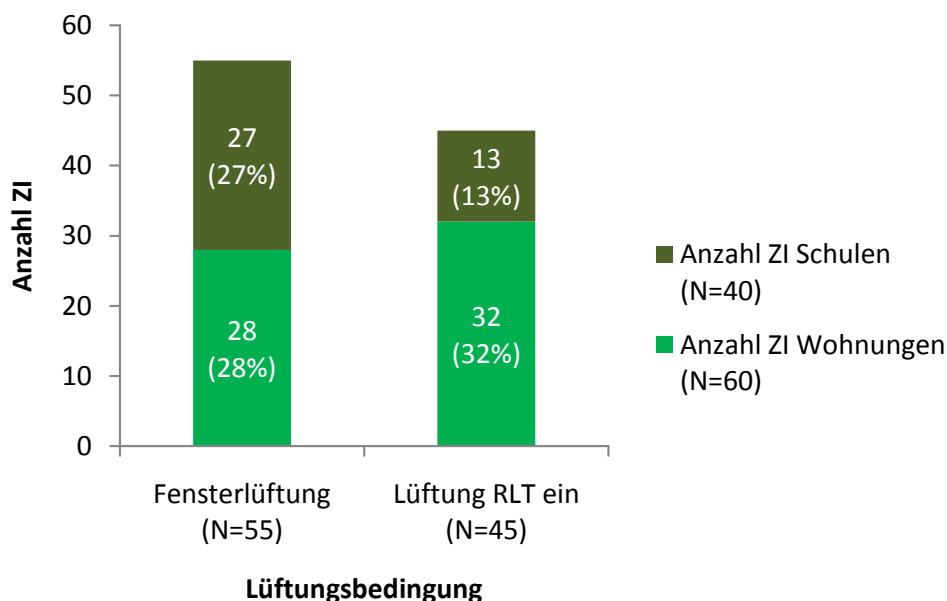


Abbildung 47 Lüftungstyp in den untersuchten Schul- und Wohnräumen.

13. Untersuchungsumfang

In den Räumen wurden folgende Parameter untersucht:

- Lufttemperatur und relative Luftfeuchte,
- Luftwechselraten bei geschlossenen Türen (mittels Tracergasanalyse) oder beim Betreiben von Lüftungstechnischen Systemen mit Inbetriebnahme dieser Systeme,
- VOC, Aldehyde / Ketone, Flammschutzmittel.

14. Substanzumfang

In der Raumluft wurden neben den flüchtigen organischen Verbindungen (einschließlich Aldehyde/Ketone, Probenahme auf DNPH) auch Flammschutzmittelwirkstoffe (Probenahme auf PU) gemessen und die Luftwechselrate bestimmt. Um ein vergleichbares Substanzspektrum zu erfassen, wurde eine Stoffliste mit Mindeststoffen und Mindestbestimmungsgrenzen erstellt (Anlage Teil B).

14.1 Statistische Kenndaten Gesamtliste, Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)

Für Teil B wurden Messungen von insgesamt 454 Stoffen von den Instituten abgegeben. Eine Auflistung der statistischen Kenndaten der Stoffe erfolgt im Anhang Teil B.

Gegenüber der anlassbezogenen Erhebung von VOC-Messdaten waren die VOC-Konzentrationen für den Teil B überwiegend niedriger. In der nachfolgenden Tabelle werden die Perzentile P90 und P95 für ausgewählte Stoffe für Teil A und B gegenübergestellt.

Tabelle 34 Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum, Klassenraum. P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil. Die Maximalwerte pro Zeile sind rot markiert.

	Teil A		Teil B	
	P90 µg/m ³	P95 µg/m ³	P90 µg/m ³	P95 µg/m ³
Cyclohexan	9,0	19	3,1	7,1
Toluol	30	51	29	52
Styrol	12	21	7,0	10
Limonen	23	29	36	51
Formaldehyd	81	113	57	83
Hexanal	55	91	35	47
2-Butanon	36	68	8,1	12
EGMP	5,0	21	8,2	13
Butanonoxim	5,0	21	<1	1
TVOC	1572	2398	902	1201

14.2 VOC-Konzentrationen in Schulen und Wohngebäude, Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)

Im Anhang Teil B sind ausgewählte statistische Kennwerte der Stoffe getrennt nach Schulen und Wohngebäuden vergleichend gegenübergestellt, um eventuelle Effekte der Nutzung sichtbar zu machen. Im Vergleich mit den nach Nutzungsarten getrennten Teilgruppen innerhalb der anlassbezogenen Messungen (Teil A) sind die Unterschiede innerhalb der ausgewählten Gebäudes (Teil B) geringer. In der nachfolgenden Tabelle 30 werden einige Stoffe, für die auffällige Unterschiede zwischen den Perzentilen für Wohn- und Klassenräume vorliegen, aufgeführt.

Tabelle 35 Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum, Klassenraum. P90 = 90. Perzentil, P95 = 95. Perzentil. Die Maximalwerte pro Zeile sind rot markiert.

Stoffe	Wohnraum		Klassenraum	
	P90 µg/m ³	P95 µg/m ³	P90 µg/m ³	P95 µg/m ³
n-Heptan	4,9	6	12	14
n-Undecan	5,0	13	6,0	7,0
m,p-Xylol	6,0	9,9	12	22
Styrol	7,0	10	6,0	8,5
Naphthalin	0,6	1,0	0,5	1,0
α-Pinen	112	141	139	202
Limonen	38	61	12	32
Eucalyptol	4,0	16	1,0	1,0
Formaldehyd	47	56	81	89
Hexanal	47	56	36	45
Ethylacetat	34	54	6,0	7,0
Benzothiazol	1,0	1,0	9,9	17

Überwiegend höhere Konzentrationen lagen für n-Undecan, Styrol, Limonen, Hexanal und Ethylacetat in Wohnräumen vor. Für n-Heptan, m,p-Xylol, α -Pinen, Formaldehyd und Benzothiazol wurden in der Guppe Klassenräume höhere Perzentile erreicht.

14.3 VOC-Konzentrationen im zeitlichen Verlauf (1. und 2. Messung), Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)

Pro Objekt erfolgten zwei Messserien, eine Messserie sollte möglichst im Winter während der Heizperiode und eine im Sommer außerhalb der Heizperiode erfolgen. Die Messungen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit unterschiedlich großen Abständen zwischen den Messserien durchgeführt. Meist erfolgte die Erstmessung (Statusmessung) im Sommer und die Zweitmessung (Wiederholungsmessung) im Winter. In zwei Objekten konnte aufgrund des ungeplanten Nutzerwechsels keine Wiederholungsmessung durchgeführt werden, so dass zu 51 Statusmessungen nur 49 Wiederholungsmessungen vorliegen.

Der Beginn der Nutzung des Objektes sollte mindestens ein halbes Jahr zurückliegen. Bei einigen Objekten erfolgte die Messung unmittelbar 6 Monate nach Fertigstellung, andere Objekte waren bereits längere Zeit nach der Fertigstellung in Nutzung. Aufgrund von Verzögerungen im Bauablauf musste bei einigen Objekten der Messbeginn verschoben werden. Insofern sind mögliche Änderungen der Konzentrationen zwischen der ersten und der zweiten Messung auch bedingt durch das noch vorliegende Abklingen von Stoffkonzentrationen möglich.

Die statistischen Kenndaten der Stoffkonzentrationen sind im Anhang Teil B aufgelistet.

Es konnten sowohl höhere Perzentilwerte bei der ersten Messung als auch bei der zweiten Messung festgestellt werden. Für eine Vielzahl der betrachteten Verbindungen lag kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Probenahmeterminen vor. Höhere Perzentile bei der zweiten Messung wurden u.a. für einige Alkane, Terpene, Aldehyde, Ketone, Glykolderivate, Siloxane und sonstige Verbindungen ermittelt. Die Unterschiede bei den Alkenen, Aromaten, halogenierten Kohlenwasserstoffen, Alkoholen, Estern, Alkansäuren und Flammschutzmitteln waren gering bzw. variierend. Während die Perzentile für Styrol bei der ersten Messung höher waren, wurden für Toluol bei der zweiten Messung höhere Perzentile ermittelt.

Höhere Konzentrationen bei der ersten oder zweiten Messung können im Zusammenhang mit einer geringeren Lüftung im Winter und/oder nutzungsbedingten Einträgen (z. B. durch Reinigungsmittel) stehen.

14.4 VOC-Konzentrationen für verschiedene Jahreszeiten (Sommer / Winter), Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)

Die Probenahmen erfolgten nicht einheitlich zu bestimmten vorgegebenen Terminen. Sie streuten über einen weiten Beprobungszeitraum. Für die Auswertung wurden die Monate von April bis September in der Kategorie „Sommer“ und die Monate Oktober bis März in der Kategorie „Winter“ zusammengefasst. Es lagen jeweils 50 Messungen vor: In der Kategorie „Sommer“ mit 31 Statusmessungen und 19 Wiederholungsmessungen und in der Kategorie „Winter“ mit 20 Statusmessungen und 30 Wiederholungsmessungen.

Eine Liste mit den statistischen Kenndaten der untersuchten Stoffe enthält der Anhang Teil B.

Höhere Konzentrationen wurden in der Kategorie „Sommer“ für Terpene (mit Ausnahme von Limonen und Eucalyptol), Aldehyde insbesondere Formaldehyd, aber auch höhere Aldehyde wie Hexanal, Ketone, Ester und Alkansäuren gemessen. Entsprechend erreichten die Perzentile für den TVOC-Wert in der Kategorie „Sommer“ höhere Konzentrationen. Sie lagen in der Kategorie „Sommer“ bei 365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Median), 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 1510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95),

in der Kategorie „Winter“ Lüftung bei 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Median), 719 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 873 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95).

14.5 Vergleich der VOC-Konzentrationen in Gebäuden mit und ohne Lüftungsanlage, Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)

Im Anhang Teil B ist eine Stoffliste aufgeführt, in der jeweils ausgewählte, statistische Kennwerte zwischen Räumen mit und ohne technischer Lüftungsanlage verglichen wurden. Einzelne Stoffe können sich in Ihrer Konzentration stark zwischen den Lüftungstypen unterscheiden.

Deutlicher als bei den anlassbezogenen Messungen fallen die Unterschiede zwischen den Perzentilen in den Objekten mit Fensterlüftung und den Objekten mit technischer Lüftung aus. Nur für einzelne, wenige Stoffe waren Perzentile in der Gruppe technische Lüftung höher als in der Gruppe Fensterlüftung. Hierzu gehören Eucalyptol (P95) Ethylacetat (P95), n-Decanal (P90, P95), 2-Propylenglykol (P95) und Siloxan D5 (P95). Auffällig höhere Konzentrationen in der Gruppe Fensterlüftung waren für einige aromatische Verbindungen, Terpene, Aldehyde, Ketone und Glykolderivate feststellbar. Für Formaldehyd wurde in der Gruppe Fensterlüftung das 90. Perzentil mit 84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und das 95. Perzentil mit 109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt, in der Gruppe technische Lüftung liegen die Perzentile bei 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95). Auch die TVOC Werte unterschieden sich deutlich. In der Gruppe Fensterlüftung lagen die Werte bei 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 1334 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95), in der Gruppe technische Lüftung bei 545 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 658 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95).

Im Gegensatz zu den 90. und 95. Perzentilen bei den anlassbezogenen Messungen ist der Konzentrationsunterschied zwischen dem 90. und 95. Perzentil hier deutlich geringer.

14.6 Vergleich der VOC-Konzentrationen für Neubau und modernisierte Gebäude, Gebäudeauswahl Teil B (energieeffiziente Gebäude)

Statistische Kennwerte der gemessenen chemischen Verbindungen im Vergleich von Gebäuden mit einem Baujahr ab 2002 (Neubau) und älteren, energetisch modernisierten Gebäuden sind in Anhang Teil B aufgelistet.

Die Unterschiede zwischen den Perzentilwerten in diesen beiden Gruppen sind gering. Der TVOC Summenwert in der Gruppe Neubau liegt bei 904 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 1120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95); in der Gruppe Modernisierung bei 900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95). Für Formaldehyd wurden in der Gruppe Modernisierung höhere Werte bestimmt. Die Perzentile liegen bei 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95), in der Gruppe Neubau bei 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P90) und 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (P95). Verschiedene Aromaten, n-Undekan, n- und iso-Butanol, Methylethylketon, Texanol und Siloxan D3 erreichten höhere Konzentrationen in der Gruppe Modernisierung. Dagegen waren für n-Hexan, Limonen, delta-3-Caren, Diethylenglykolmonoethylether, N-Methylpyrrolidon und Benzothiazol höhere Perzentile in den neu gebauten Objekten feststellbar.

14.7 Auswertung ausgewählter Stoffe

Um orientierend ein Gesamtbild der wichtigsten Einflußfaktoren auf das Vorkommen flüchtiger organischer Verbindungen zu erhalten, wurde unter Einbeziehung 43 ausgewählter Stoffe und Gebäudemerkmale eine kanonische Korrespondenzanalyse (CCA, Eigenwerte: Achse 1: 0,163; Achse 2: 0,099) erstellt (Abbildung 48). Am stärksten unterschied sich die Zusammensetzung der Stoffe zwischen Schulen und Wohngebäuden, gefolgt vom Einfluss der zeitlichen Komponente (erste und zweite Messung). Die Art der Lüftung hatte nur einen untergeordneten Effekt auf die Zusammensetzung der Stoffe in der Luft. Neubau und Modernisierung trennten sich anhand der Stoffzusammensetzung entlang der ersten Achse kaum auf, sind also ebenfalls von untergeordneter Bedeutung.

Besonders die Stoffe 2,2,4,6,6-Pentamethylheptan, Diethylenglykolmonoethylether, Ethylenglykolmonophenylether und Ethylacetat zeigten auffällige Werte entlang der ersten Achse. Im Fall von 2,2,4,6,6-Pentamethylheptan wurde dies durch einen einzelnen hohen Wert bedingt. Die Konzentration von Diethylenglykolmonoethylether lag meist unter $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, erreichte aber in mehreren Gebäuden hohe Konzentrationen, in einer Messung von bis zu $1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ebenso bei Ethylenglykolmonophenylether, das bei einigen Messungen Konzentrationen bis $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreichte. Ethylacetat erreichte in einer Probe eine Konzentration von $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lag aber in allen anderen Proben unter $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

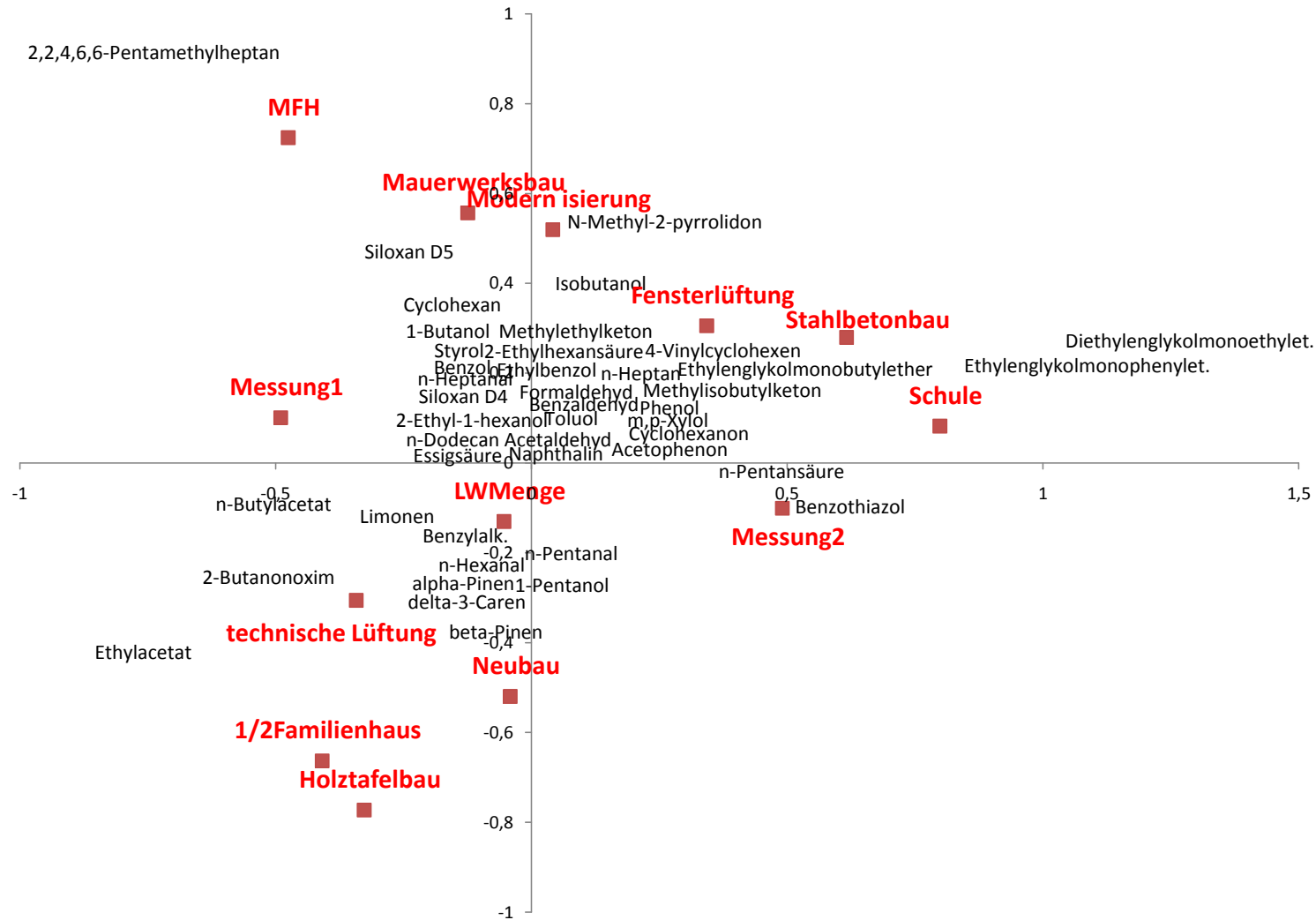


Abbildung 48 Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) unter Einbeziehung 34 chemischer Verbindungen und von Gebäudemerkmale. CCA, Eigenwerte: Achse 1: 0,163; Achse 2: 0,099

14.7.1 Luftwechselraten und Raumlufkonzentrationen für ausgewählte Stoffe

Für 44 Einzelstoffe und die TVOC-Werte wurden Mann-Whitney U-Tests durchgeführt, um die Stoffkonzentrationen zwischen Räumen mit Fensterlüftung und technischer Lüftung zu vergleichen. Ob eine Korrelation zwischen den Stoffkonzentrationen und den Luftwechselraten vorlag, wurde getrennt für Räume mit Fensterlüftung und technischer Lüftung mit Spearman-Korrelationen untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 36 aufgelistet. Rot wurden signifikante Unterschiede und Korrelationen ($p < 0,05$) markiert. Bei Fensterlüftung korrelierten 13 Stoffe, bei technischer Lüftung 8 Stoffe mit der Luftwechselrate. Von diesen Stoffen korrelierten 4-Vinylcyclohexen bei Fensterlüftung und Benzylalkohol, Diethylglykolmonoethylether und Ethylglykolmonophenylether bei technischer Lüftung positiv mit der Luftwechselrate. Alle anderen Stoffe mit signifikantem p korrelierten negativ mit der Luftwechselrate. D.h. mit zunehmendem Luftaustausch im Zimmer nahmen die Stoffkonzentrationen ab.

Wesentlich häufiger, bei 30 der 45 Stoffe und Stoffsummen, zeigte sich ein signifikanter Effekt des Lüftungstyps auf die Stoffkonzentrationen. Berücksichtigt man, dass, wie in Abschnitt 12.2.8 erwähnt, die Luftwechselraten zwischen Fenster- und technischer Lüftung signifikant verschieden waren, erklärt sich auch der Unterschied der Stoffkonzentrationen zwischen beiden Lüftungstypen.

Tabelle 36 Anzahl der Stichproben, p-Werte des Mann-Whitney U-Tests und R und p-Werte der Spearman-Korrelationen zwischen den Stoffkonzentrationen und den LWR (getrennt für Fensterlüftung und technische Lüftung) für ausgewählte Stoffe. Alle signifikanten Unterschiede und Korrelationen sind rot markiert.

Stoffbezeichnung			Mann-Whitney U-Test	Spearman-Korrelation			
	Fensterlüftung	technische Lüftung	Vergleich Fensterlüftung/techn. Lüftung	Fensterlüftung		technische Lüftung	
	N	N	p	R	p	R	p
Cyclohexan	48	52	0,314	-.1557	0.337	-.0845	0.572
n-Dodecan	48	52	0,001	-.2584	0.107	-.1968	0.185
2,2,4,6-Pentamethylheptan	48	52	0,004	-.1881	0.245	-.1300	0.384
n-Heptan	48	52	0,000	-.2404	0.135	-.1999	0.178
4-Vinylcyclohexen	48	52	0,937	.3392	0,032	-.1355	0.364
Ethylbenzol	48	52	0,000	-.1369	0.400	-.3086	0,035
Styrol	48	52	0,001	-.4354	0,005	-.2726	0.064
Toluol	48	52	0,000	-.0355	0.828	-.1076	0.472
Phenol	48	52	0,005	-.0090	0.956	-.0607	0.685
m,p-Xylol	48	52	0,001	.0359	0.826	-.1328	0.373
Benzol	48	52	0,194	.0731	0.654	-.0569	0.704
Naphthalin	48	52	0,000	-.1815	0.262	-.2312	0.118
Benzothiazol	45	52	0,035	-.3203	0,044	-.1580	0.289
Benzylalkohol	48	52	0,460	.0774	0.635	.3851	0,008
2-Ethyl-1-hexanol	48	52	0,856	-.3426	0,030	-.2729	0.063
1-Butanol	48	52	0,004	-.3838	0,014	-.1214	0.416
1-Pentanol	48	52	0,040	-.3598	0,023	-.2692	0.067
Isobutanol	48	52	0,001	-.1660	0.306	-.3224	0,027
beta-Pinen	45	50	0,025	-.3052	0.055	-.0994	0.506
delta-3-Caren	45	50	0,165	-.2724	0.089	-.1873	0.207

Stoffbezeichnung			Mann-Whitney U-Test	Spearman-Korrelation			
	Fenster- lüftung	technische Lüftung	Vergleich Fensterlüftung/ techn. Lüftung	Fensterlüftung		technische Lüftung	
	N	N	p	R	p	R	p
Limonen	48	52	0,016	-.3004	0.060	-.1803	0.225
alpha-Pinen	45	50	0,063	-.3557	0.024	-.2036	0.170
Benzaldehyd	48	51	0,000	-.0842	0.606	-.2449	0.097
n-Pentanal	48	51	0,000	-.3936	0.012	-.2654	0.071
n-Heptanal	48	51	0,001	-.3167	0.046	-.1868	0.209
Formaldehyd	47	52	0,000	-.2182	0.176	-.0631	0.673
n-Hexanal	48	51	0,013	-.3570	0.024	-.3246	0.026
Acetaldehyd	47	52	0,000	-.4336	0.005	-.4181	0.003
Methylisobutylketon	48	52	0,021	-.1781	0.272	-.3001	0.040
Cyclohexanon	48	52	0,008	-.2709	0.091	-.1285	0.389
Methylethylketon	48	52	0,000	-.3006	0.059	-.2658	0.071
Acetophenon	48	52	0,001	-.3185	0.045	-.0713	0.634
n-Butylacetat	48	52	0,192	-.1258	0.439	-.1842	0.215
Ethylacetat	48	52	0,001	-.2100	0.193	-.1573	0.291
Ethylenglykolmonobutylether	48	52	0,033	-.1565	0.335	.2520	0.087
Diethylenglykolmonoethylether	48	52	0,080	-.0308	0.850	.4022	0.005
Ethylenglykolmonophenylether	48	52	0,668	-.1113	0.494	.4633	0.001
Siloxan D5	48	52	0,097	-.1093	0.502	-.2288	0.122
Siloxan D4	48	52	0,015	-.0834	0.609	-.1664	0.264
n-Pentansäure	46	50	0,268	-.1115	0.493	-.2309	0.118
2-Ethylhexansäure	46	48	0,627	-.1197	0.462	.1473	0.323
Essigsäure	46	50	0,675	-.1330	0.413	.0237	0.874
N-Methyl-2-pyrrolidon	48	52	0,770	-.1501	0.355	-.1687	0.257
2-Butanonoxim	46	52	0,031	-.0335	0.837	-.1239	0.407
TVOC (Sid + Snid)	46	52	0,000	-.3770	0.016	.0986	0.510

Zur grafischen Veranschaulichung wurden die Raumlufkonzentrationen gegen die Luftwechselraten aufgetragen und BoxPlots für den Vergleich der Stoffkonzentrationen zwischen Fenster- und technischer Lüftung erstellt (Anhang Teil B). Exemplarisch werden die Grafiken für fünf Stoffe gezeigt (Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51, Abbildung 52, Abbildung 53), für alle anderen Stoffe befinden sich die Grafiken im Anhang Teil B. Von vier (Formaldehyd, Benzaldehyd, Styrol, 1-Pentanol) dieser fünf Stoffe unterschieden sich die Konzentrationen zwischen Fenster- und technischer Lüftung signifikant. Signifikant korrelierten die Stoffkonzentrationen mit den Luftwechselraten bei drei dieser Stoffe (Styrol, 2-Ethyl-1-hexanol, 1-Pentanol).

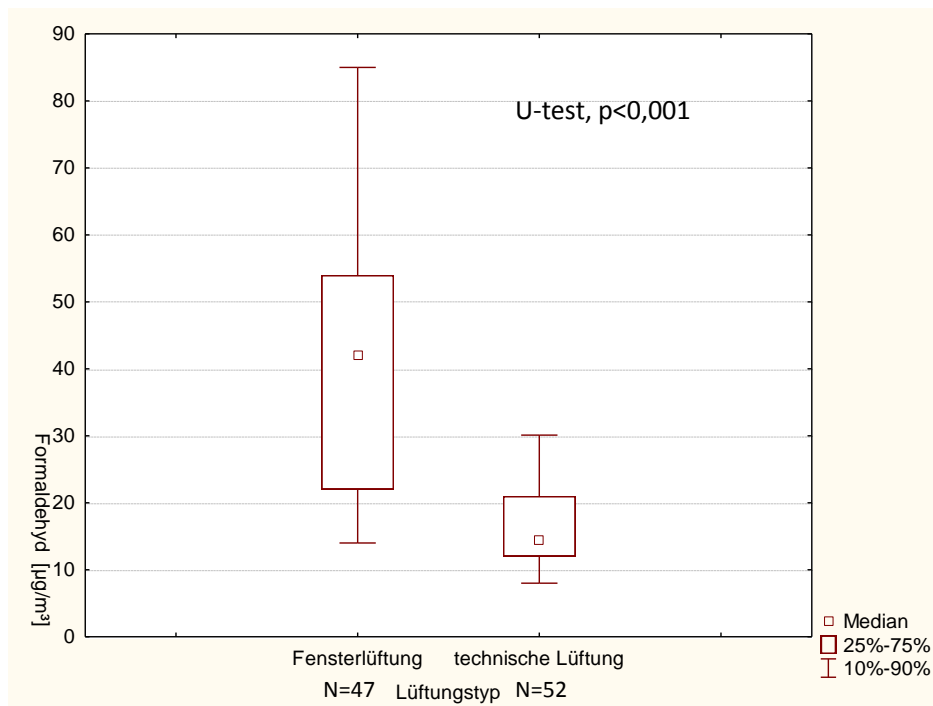
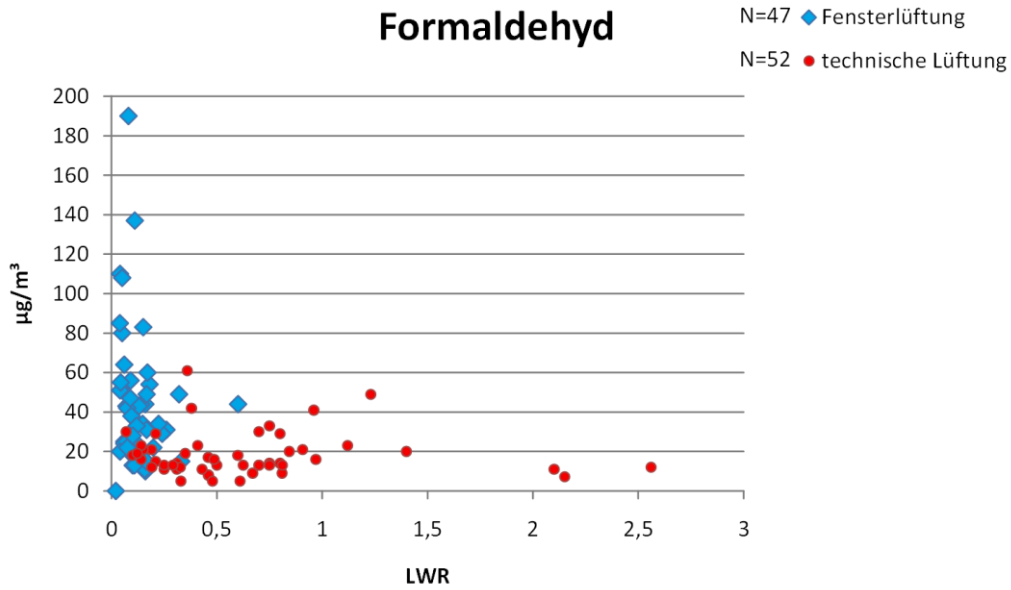


Abbildung 49 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für Formaldehyd. Es gibt keine signifikante Korrelation der Stoffkonzentrationen mit der Luftwechselrate (LWR). Die Formaldehydkonzentration ist signifikant verschieden zwischen den Lüftungstypen.

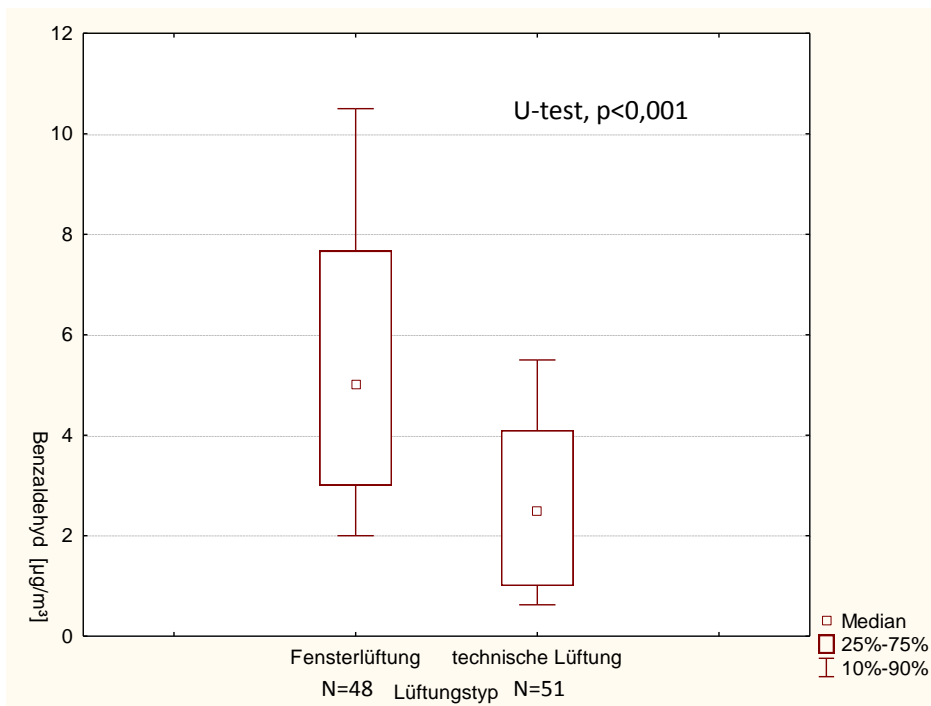
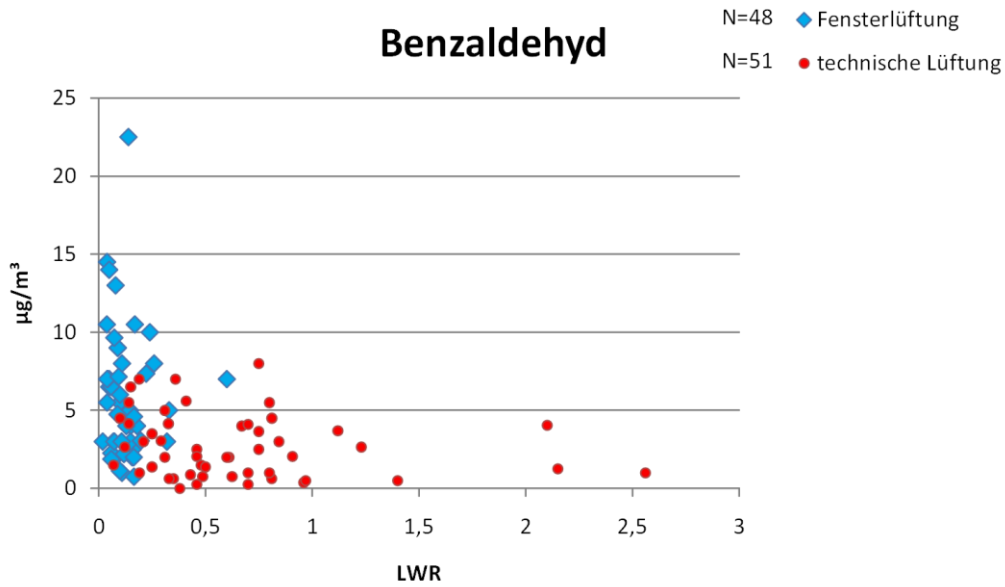


Abbildung 50 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für Benzaldehyd. Es gibt keine signifikante Korrelation der Stoffkonzentrationen mit der Luftwechselrate (LWR). Die Benzaldehydkonzentration ist signifikant verschieden zwischen den Lüftungstypen.

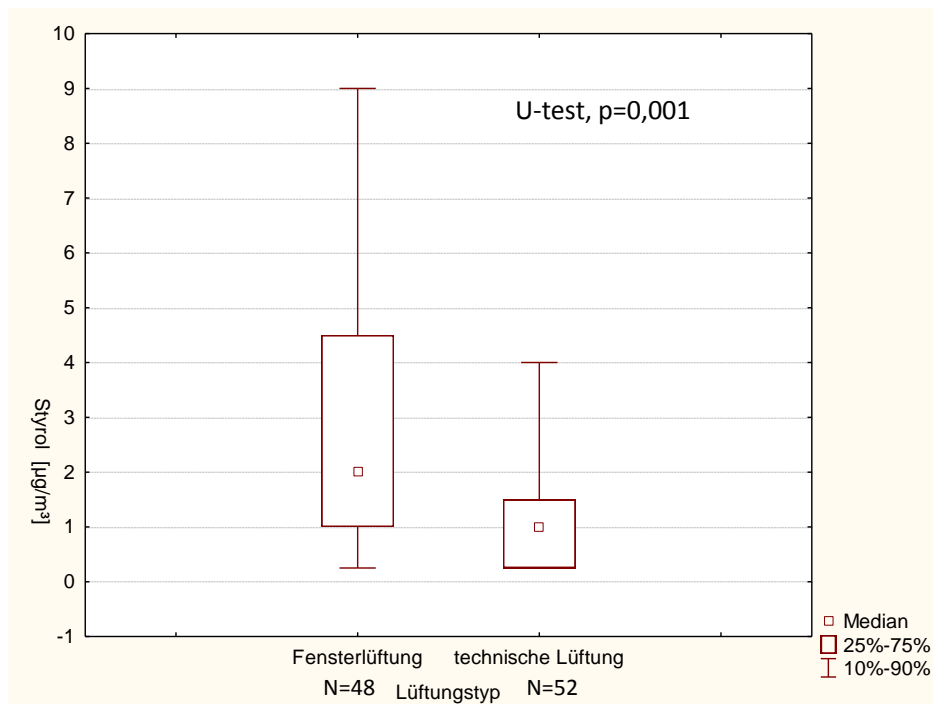
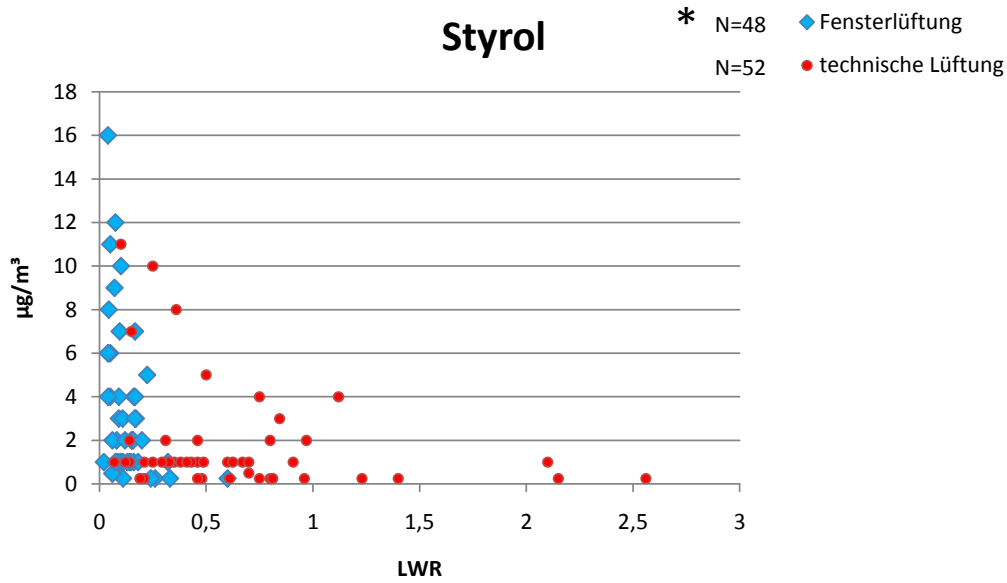


Abbildung 51 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für Styrol. Es gibt bei Fensterlüftung eine signifikante Korrelation (*) der Stoffkonzentrationen mit der Luftwechselrate (LWR). Die Styrolkonzentration ist signifikant verschieden zwischen den Lüftungstypen.

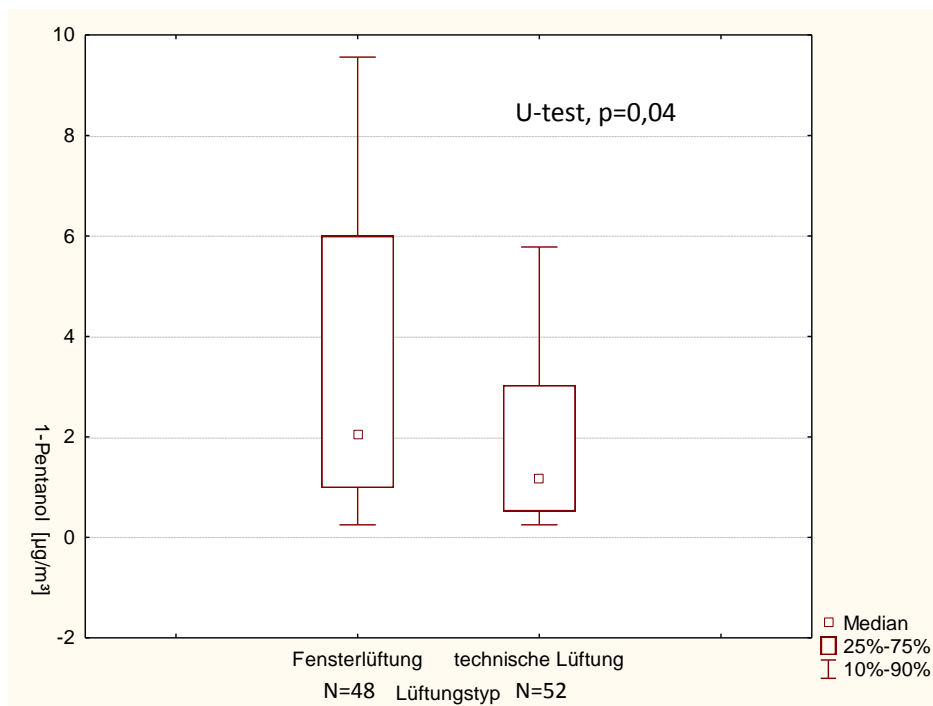
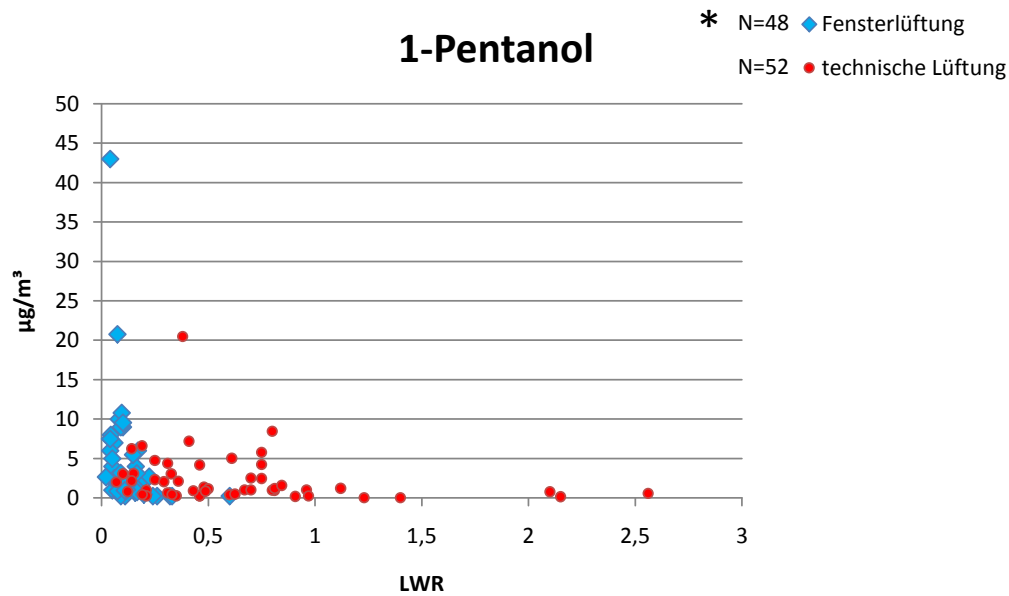


Abbildung 52 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für 1-Pentanol. Es gibt bei Fensterlüftung eine signifikante Korrelation (*) der Stoffkonzentrationen mit der Luftwechselrate (LWR). Die 1-Pentanolkonzentration ist signifikant verschieden zwischen den Lüftungstypen.

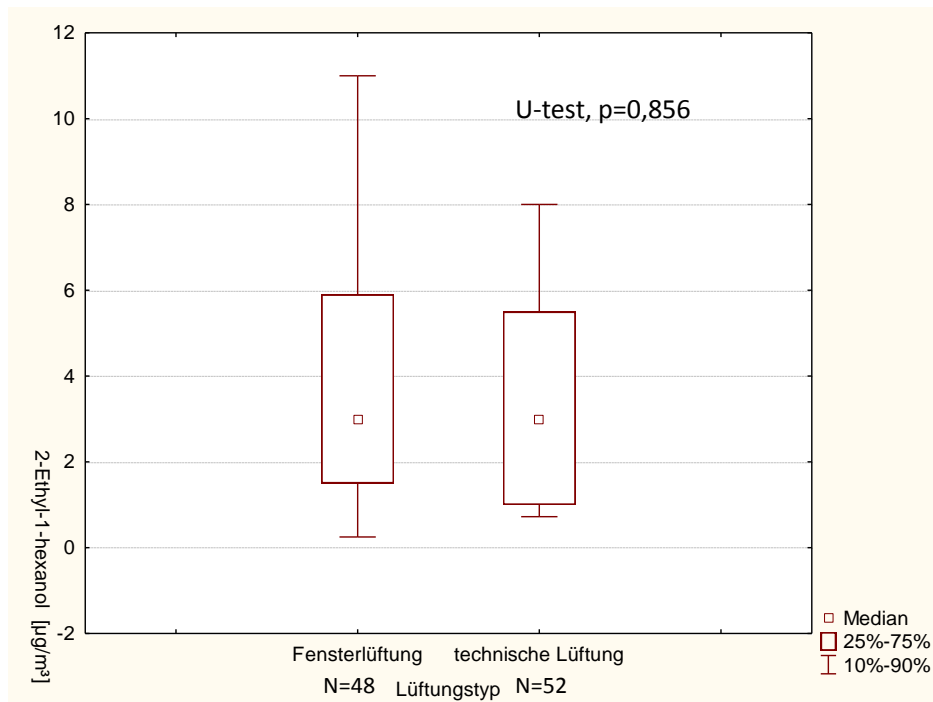
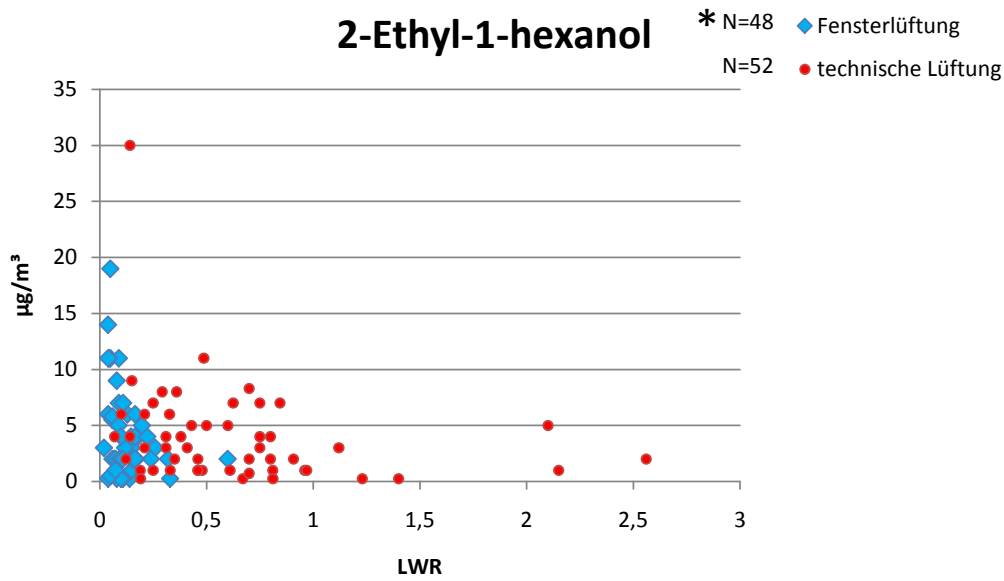


Abbildung 53 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für 2-Ethyl-1-hexanol. Es gibt bei Fensterlüftung eine signifikante Korrelation (*) der Stoffkonzentrationen mit der Luftwechselrate (LWR). Die 2-Ethyl-1-hexanolkonzentration ist nicht signifikant verschieden zwischen den Lüftungstypen.

Teil C

15. Auswertung der Gesamtdaten VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0

Insgesamt liegen aus beiden Vorhaben 7436 Datensätze vor. Aus dem ersten Vorhaben wurden 2590 Datensätze übernommen. Die Anzahl der für die Auswertungen zur Verfügung stehenden Messwerte liegt für die Summe der Messwerte aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0 bei 950.073.

Von den mit der Version 1.0 erfassten 293.468 Messwerten waren 60,15 % der Messwerte (176.530) unterhalb der Bestimmungsgrenze, 116.938 Messwerte lagen oberhalb der Bestimmungsgrenze. In der Version 2.0 waren von den insgesamt 656.605 Messwerten 68,17 % der Messwerte (447.618) unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze und 208.987 Messwerte lagen darüber.

Die Abbildung 54 zeigt die Anzahl der Datensätze pro Jahr für den gesamten Zeitbereich von 2002 bis 2012.

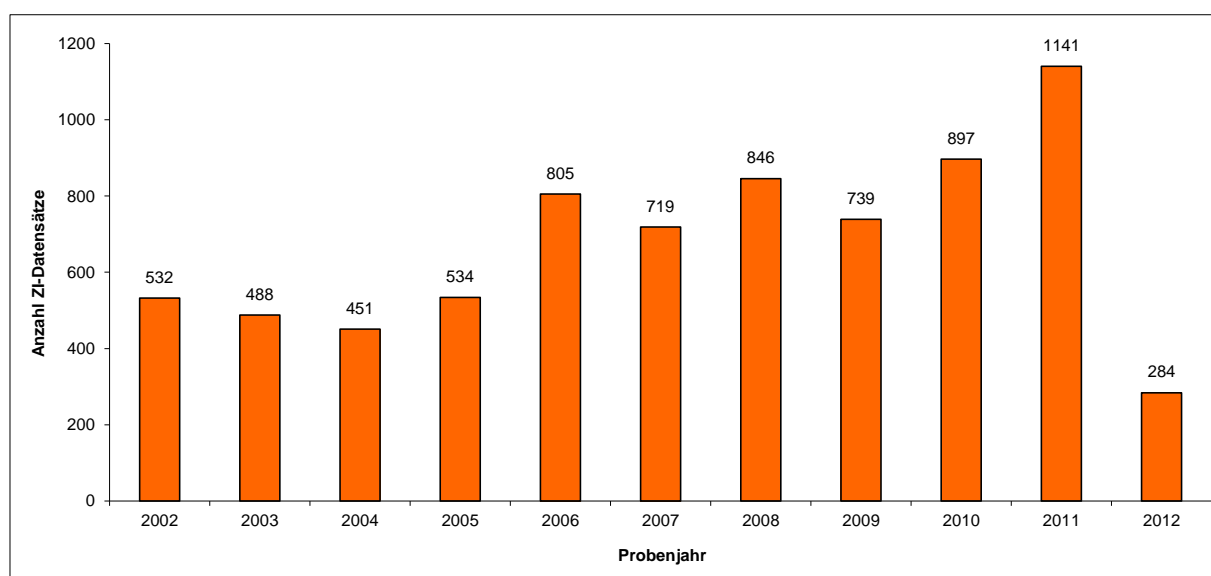


Abbildung 54 Anzahl der ZI-Datensätze aus der VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0 über den gesamten zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012.

Die Anzahl der ZI-Datensätze pro Jahr variiert. Es wurden mehr Datensätze pro Jahr für das 2. Vorhaben und mit 1141 Datensätzen deutlich mehr Datensätze in dem Jahr der Datenerfassung 2011 als in den Jahren zuvor erfasst. Dagegen stehen für das Jahr 2012 aufgrund des Abschlusses der Datenerhebung mit 284 Datensätzen weniger Daten zur Verfügung.

15.1 Vergleich der Methoden im zeitlichen Verlauf

Die Abbildung 55 zeigt den Anteil der Messwerte je Methodentyp über den gesamten Zeitbereich von 2002 bis 2012.

Die Differenzierung der Methoden erfolgte je nach Sammelmedium, Desorptionsmittel und Detektor (zur Beschreibung siehe auch Hofmann, Pliening 2008).

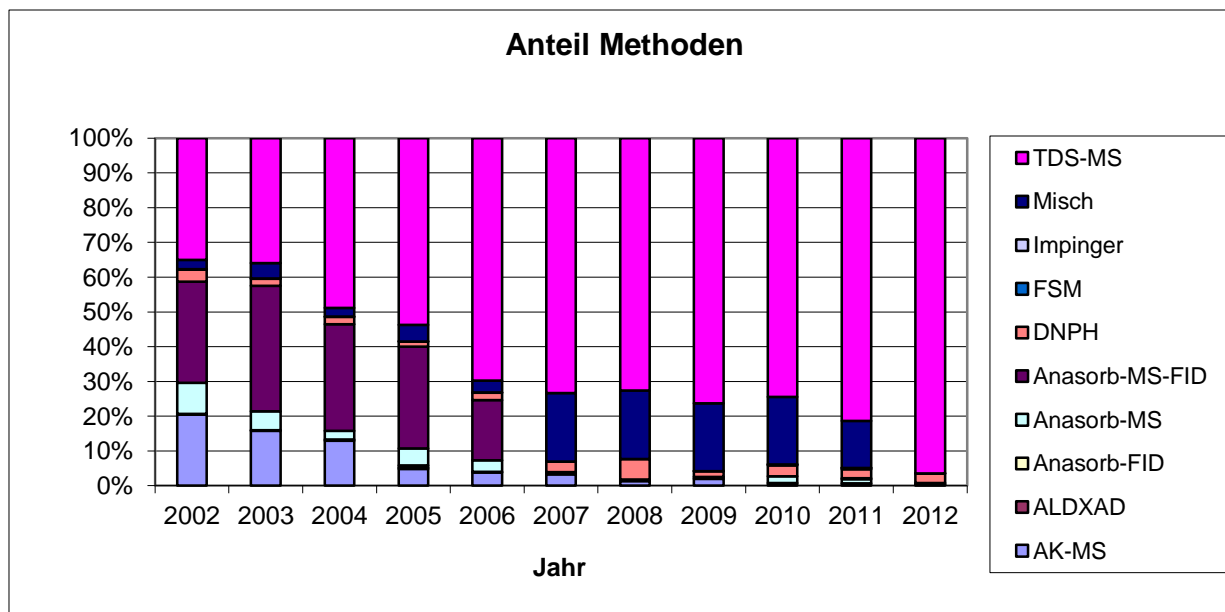


Abbildung 55 Anteil der Messwerte je Methodentyp pro Jahr aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.

Das TDS-MS Verfahren entwickelte sich innerhalb des Betrachtungszeitraumes zur dominierenden Nachweismethode.

15.2 Vergleich der VOC-Konzentrationen im zeitlichen Verlauf (siehe VOC DB I)

In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 56 bis Abbildung 71) sind die Perzentile (P10, P25, P50, P75, P90 und P95) für ausgewählte Stoffe (Toluol, Benzol, Styrol, n-Undekan, 1,1,1-Trichlorethan, 2-Ethylhexanol, n-Butanol, EGMB, Formaldehyd, n-Hexanal, α -Pinen, Benzaldehyd, Butylacetat, 2-Butanonoxim) und TVOC Summenwert) im zeitlichen Verlauf unter Einbeziehung der Messdaten aus der VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0 für 2002 bis 2012 dargestellt.

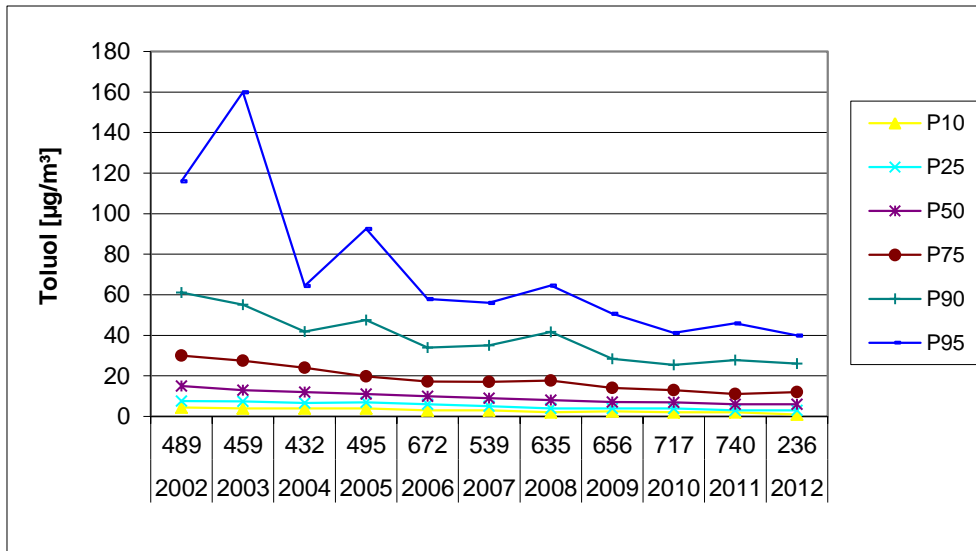


Abbildung 56 Konzentrationen von Toluol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

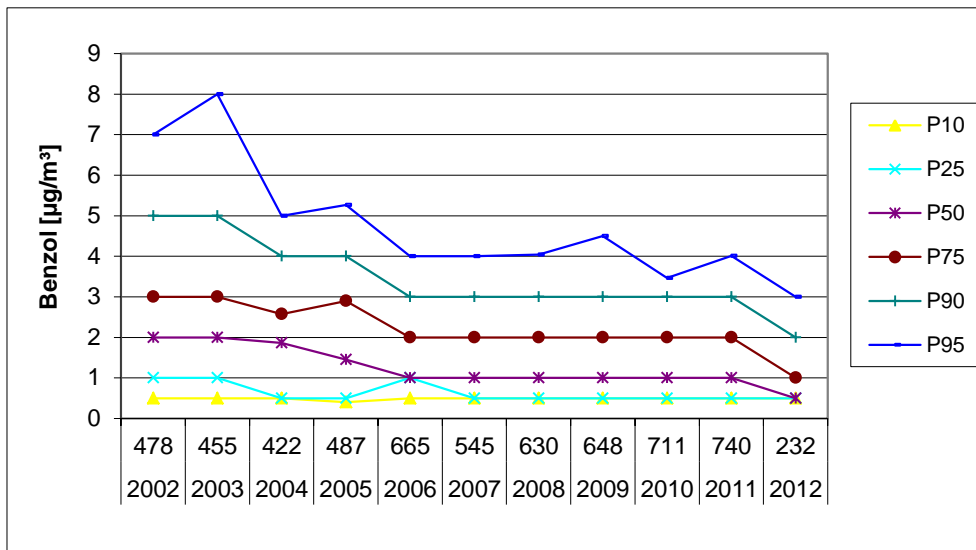


Abbildung 57 Konzentrationen von Benzol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

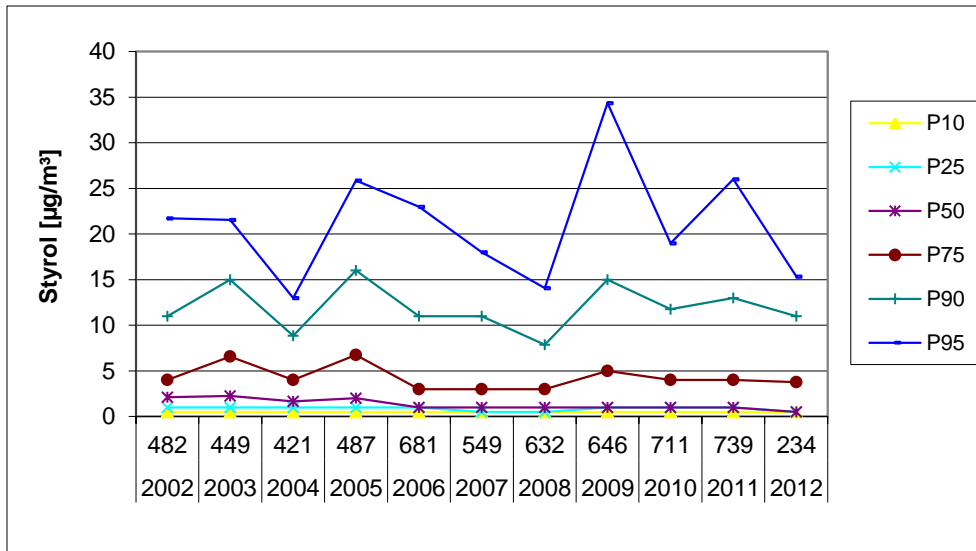


Abbildung 58 Konzentrationen von Styrol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

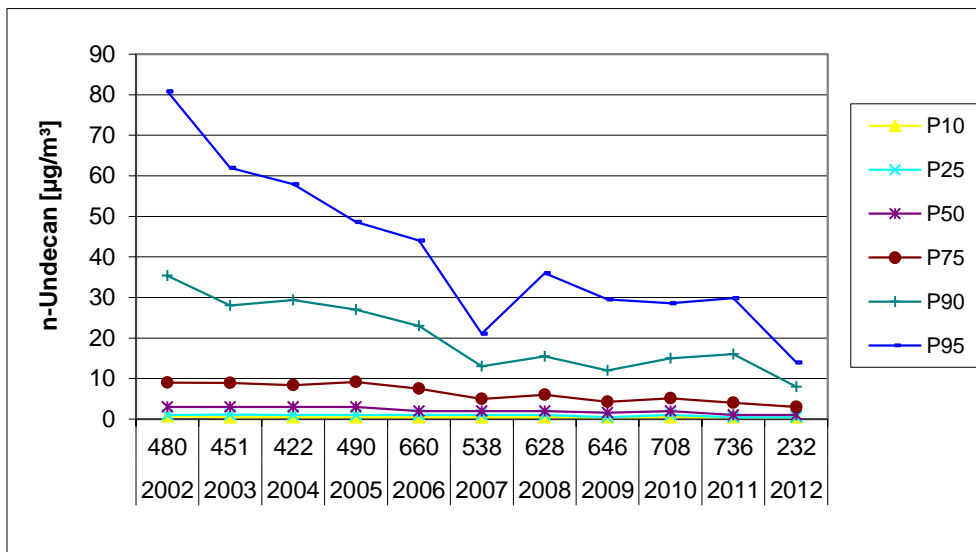


Abbildung 59 Konzentrationen von n-Undecan in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

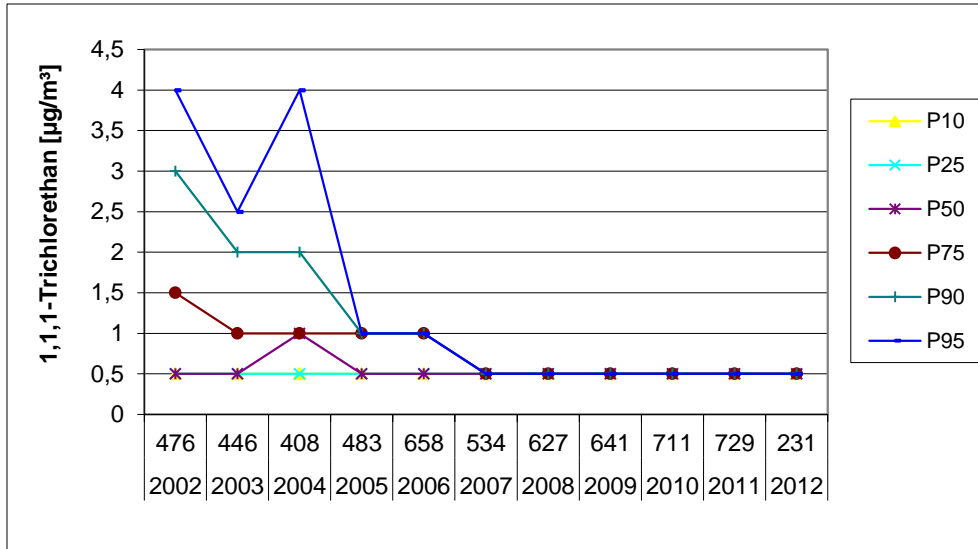


Abbildung 60 Konzentrationen von 1,1,1-Trichlorethan in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

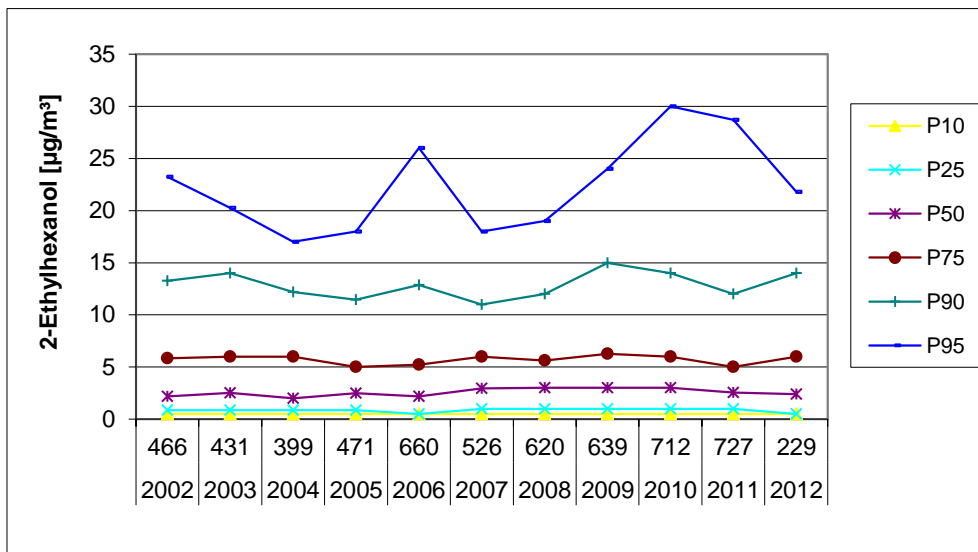


Abbildung 61 Konzentrationen von 2-Ethylhexanol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

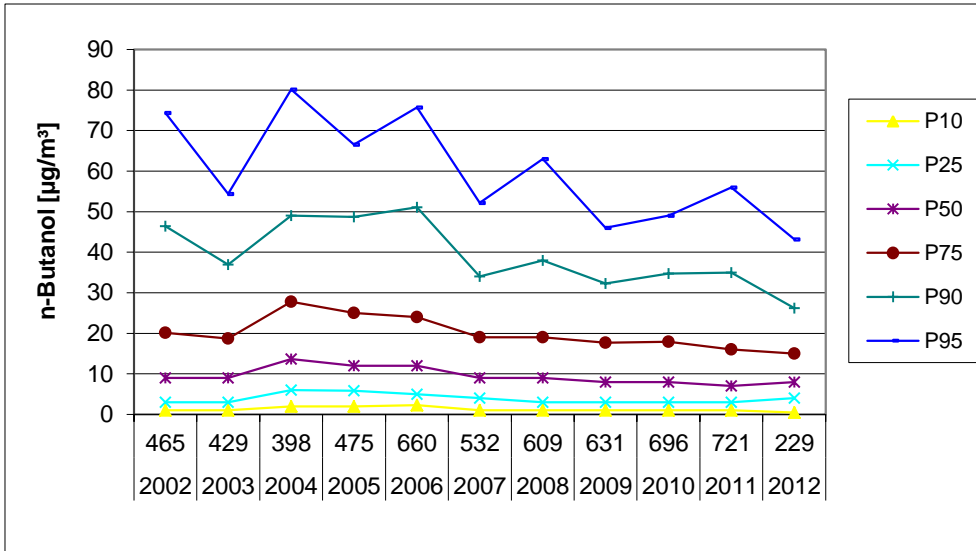


Abbildung 62 Konzentrationen von n-Butanol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

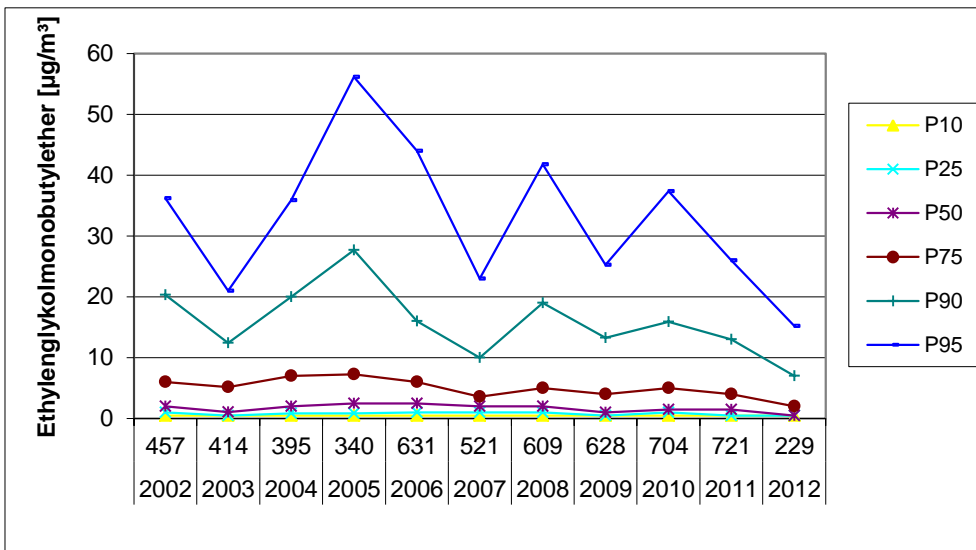


Abbildung 63 Konzentrationen von EGMB (Ethylenglykolmonobutylether) in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

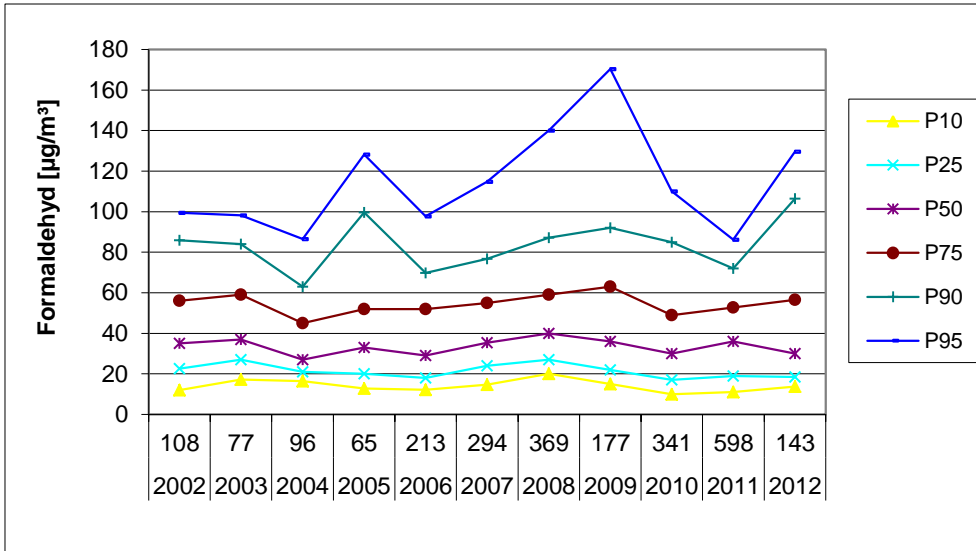


Abbildung 64 Konzentrationen von Formaldehyd in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

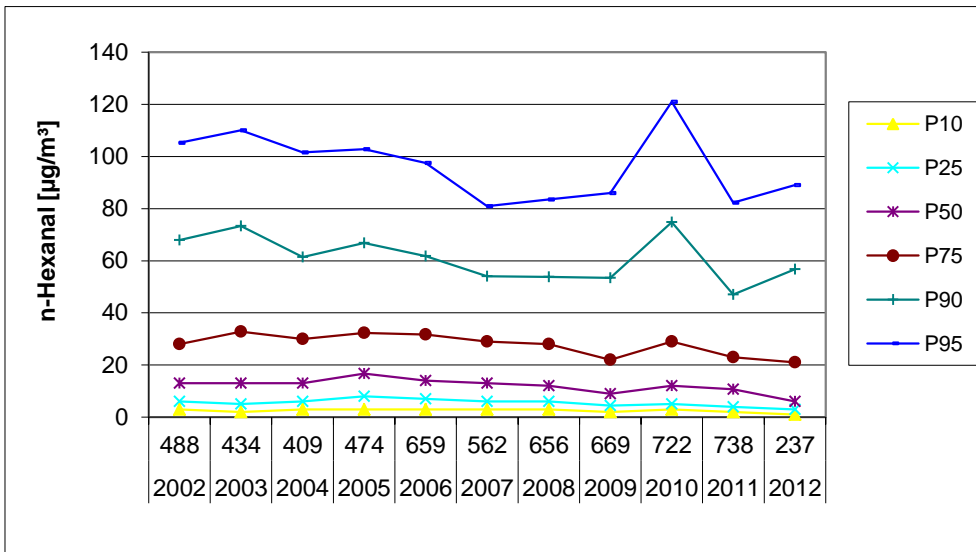


Abbildung 65 Konzentrationen von n-Hexanal in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

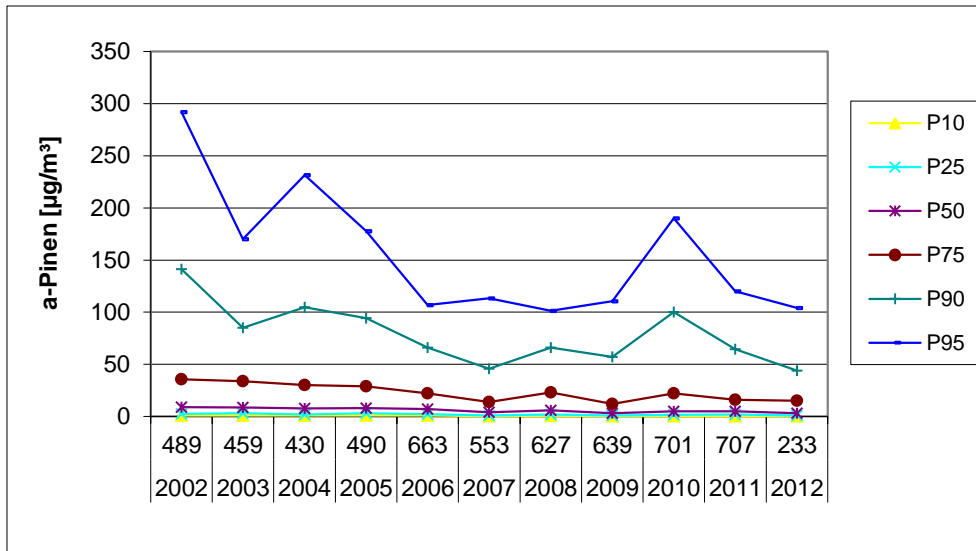


Abbildung 66 Konzentrationen von alpha-Pinen in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

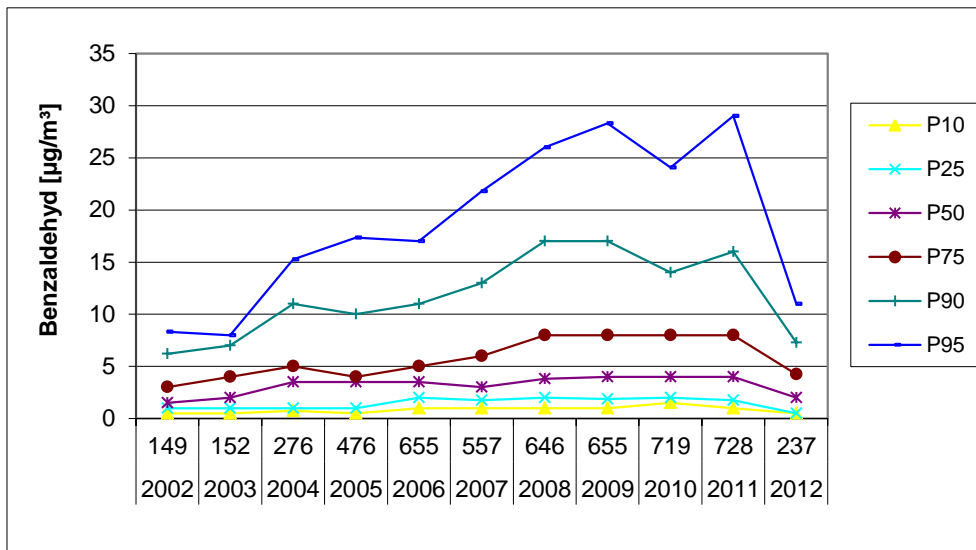


Abbildung 67 Konzentrationen von Benzaldehyd in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

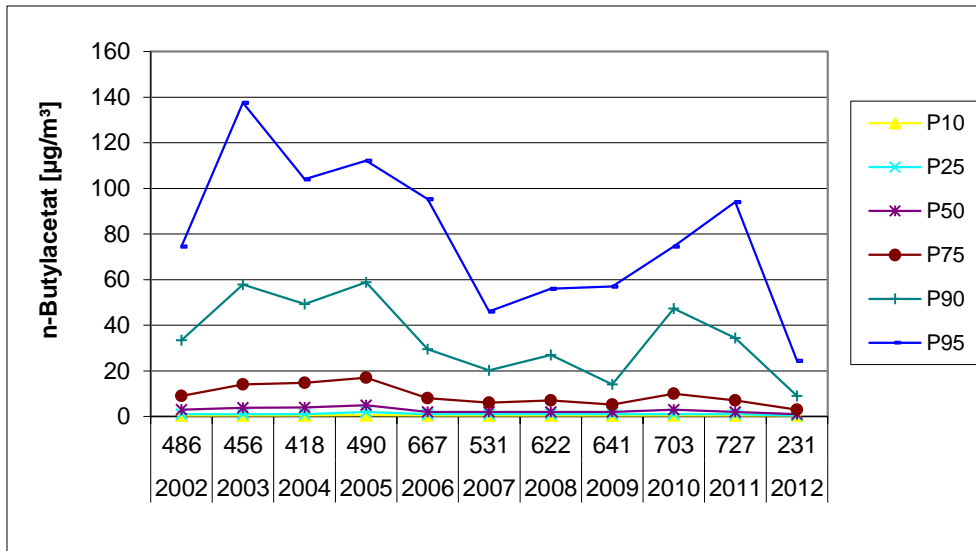


Abbildung 68 Konzentrationen von Butylacetat in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

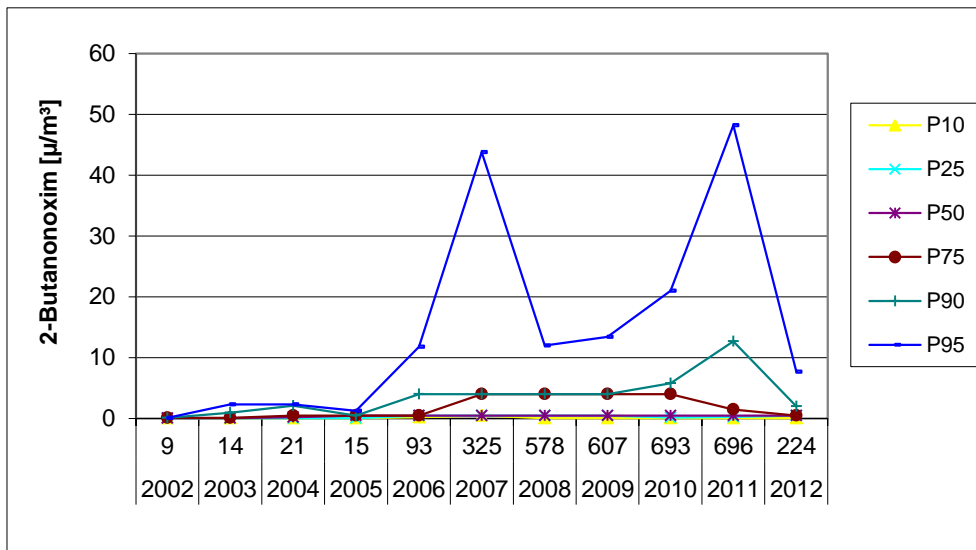


Abbildung 69 Konzentrationen von 2-Butanonoxim in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

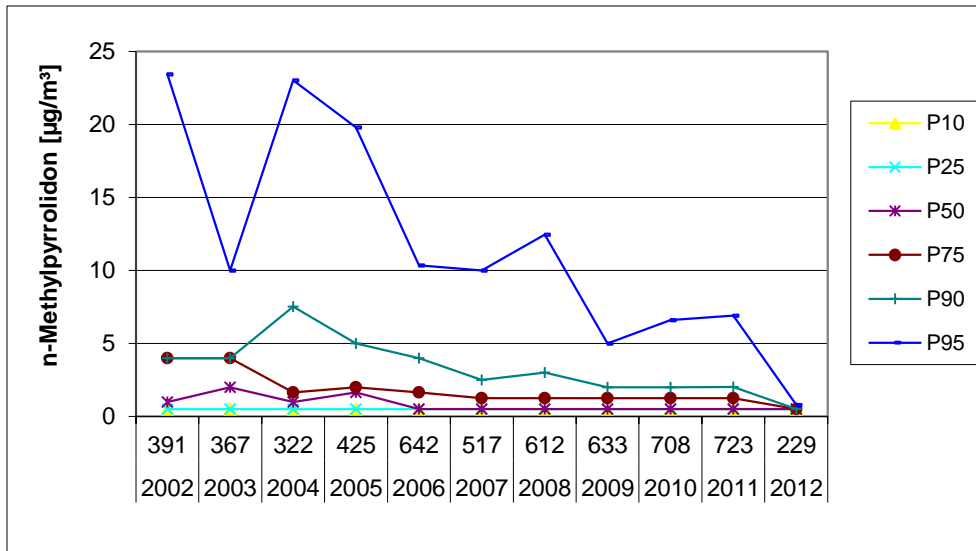


Abbildung 70 Konzentrationen von n-Methylpyrrolidon in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

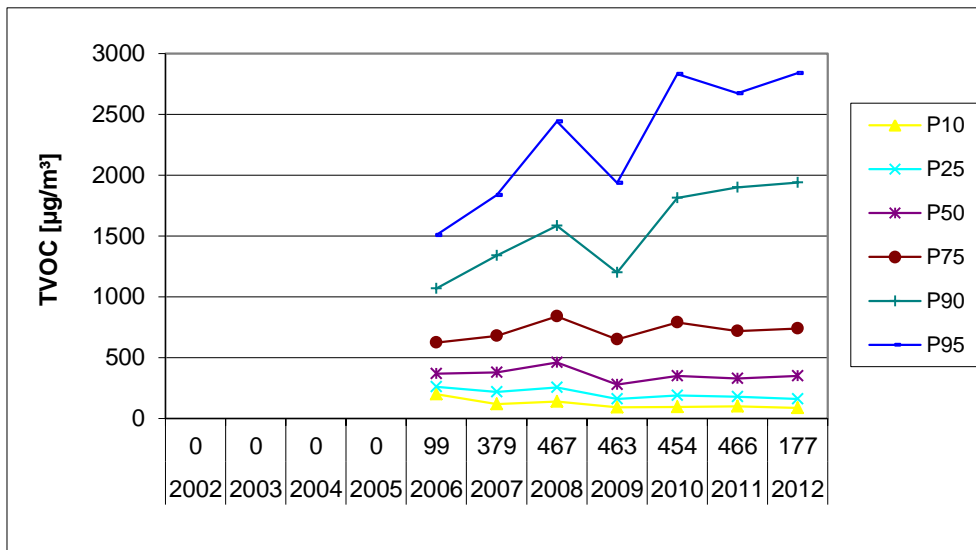


Abbildung 71 Konzentrationen von TVOC in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2006 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0. Angegeben ist über der Jahreszahl die Stichprobengröße für das jeweilige Jahr.

16. Diskussion

16.1 Zusammensetzung der Stichprobe / Datenkollektiv

Die in diesem Projekt erfassten und ausgewerteten Daten stammen mit Ausnahme der für den Projektteil B gezielt ausgewählten Gebäude aus anlassbezogenen Innenraumluftuntersuchungen der beteiligten AGÖF-Institute.

Die Zusammensetzung der Stichprobe ist insofern typisch für anlassbezogene Untersuchungen auf flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft mit den regionalen Schwerpunkten bedingt durch die Lage und Größe der AGÖF-Institute. Während die Zusammensetzung der Stichprobe, z.B. in Bezug auf die Kategorien „Bauweise“, „Lüftungsbedingungen“ und „Raucher“, unausgewogen ist, lagen bei Kategorien wie zum Beispiel „Baualterklasse“ oder „Raumnutzung“ relativ gleichmäßige Verteilungen auf die möglichen Kategorien vor.

Da die Begleitbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf das Vorkommen der untersuchten flüchtigen organischen Verbindungen haben, wurde die Zusammensetzung der Stichprobe in diesem Bericht in den Kapiteln 5 und 6 sowie 9 bis 11 sehr ausführlich beschrieben. Bei der Interpretation der Daten und ihrer Verwendung im Vergleich mit Messwerten aus Innenraumuntersuchungen oder anderen Studien ist die Herkunft der Daten zu berücksichtigen.

Trotz der engeren Vorgaben an die Auswahl der Datensätze ist der Datenbestand nicht homogen. Unterschiede bestehen zum Beispiel sowohl in Bezug auf den Umfang der untersuchten flüchtigen organischen Verbindungen als auch auf den Umfang der erfassten Zusatzinformationen. Es ist daher wichtig, bei Auswertungen zu prüfen, inwieweit eine Teilgruppe in Bezug auf weitere mögliche Einflussfaktoren eine für die Gesamtstichprobe repräsentative Zusammensetzung aufweist oder ob durch die Verknüpfung von Merkmalen eine Verzerrung möglich ist.

Nachteile aus der Zusammenführung der DB I und DB II, wie die Verallgemeinerung von Kategorien, das Fehlen von Zusatzinformationen durch den reduzierten Umfang an Pflichtangaben bis 2010 sowie die Erfassung von Datensätzen mit fehlenden Pflichtangaben (z.B. ohne Nennung der Baualterklasse), wurden zugunsten der höherer Fallzahlen in Kauf genommen.

16.2 Datenqualität

Bei der Datenerhebung konnte auf die Erfahrungen aus dem AGÖF Projekt VOC DB I zurückgegriffen werden. Aufbauend auf die vorhandene Struktur der Datenbank und das erprobte Import-Tool erfolgte eine Überarbeitung und Anpassung der einzelnen Instrumente. Für die Zusatzinformationen wurde eine engere Festlegung der Kategorien der einzelnen Gliederungsmerkmale vorgenommen, da sich die nachträgliche Einteilung im Rahmen des ersten Projektes als schwierig und zeitaufwändig erwiesen hatte. Zudem sollten „exotische“ Messungen bereits vorab ausgeschlossen und nicht mehr erfasst werden können. Es war daher nicht mehr möglich, mittels Freitext Pflichtfelder auszufüllen, sondern es konnten nur Datensätze der entsprechenden, genannten Kategorien eingetragen werden. Dadurch wurde eine höhere Konsistenz der Datensätze erreicht.

Trotz der erhofften Vorerfahrungen bei den beteiligten Instituten sowie ausführlicher Anleitung, Erläuterungen in den Eingabefeldern und Coaching bestand in einigen Fällen noch ein erheblicher Nachbearbeitungs- und Korrekturbedarf beim Import der Daten.

Auch bei den im Rahmen des Projektes VOC DB II erhobenen Daten lag der Zeitpunkt der anlassbezogenen Datenermittlung deutlich vor der Datenerfassung innerhalb des Projektes. Entsprechend erfolgte die Datenerhebung überwiegend retrospektiv. Für die Datensätze, deren Probenahmezeitpunkt innerhalb der Datenerhebung im Rahmen des Projektes lag,

wurde der Umfang der Pflichtangaben erweitert, da die Beschaffbarkeit zusätzlicher Angaben nur bei aktuellen Aufträgen als möglich bewertet wurde. Wiederum deutlich erweitert wurde der Umfang der zu leistenden Zusatzinformationen für den Projektteil B, um hier eine weitergehendere Differenzierung energetischer Merkmale, der Lüftungstechnik sowie möglicher Quellen geben zu können. Allerdings hat sich gezeigt, dass z.B. Angaben zur energetischen Gebäudequalität oftmals nicht in dem gewünschten Umfang erhoben werden konnten, da die Kontaktpersonen vor Ort nicht über entsprechende Kenntnisse verfügten und eine nachträgliche Beschaffung der Informationen oft nicht möglich bzw. zu aufwändig war. In der Regel waren keine geeigneten Gebäudedokumentationen vorhanden bzw. verfügbar, aus denen diese Angaben hätten entnommen werden können.

Verlässliche Zusatzinformationen sind am ehesten für einfache, vor Ort erkennbare Parameter zu erfassen. Eine Beschränkung des Umfangs der zu erfassenden Merkmale auf wesentliche, für die Auswertung relevante Merkmale erhöht zudem die Chance, vollständige Datensätze zu erhalten.

16.3 Stoffe / Methoden

Gegenüber der VOC DB I mit 336 Einzelstoffen erfolgte eine deutliche Erweiterung des Stoffumfangs innerhalb der VOC DB II auf 517 Einzelstoffe. Die Ergänzung neuer Stoffe in die vorhandene Stoffsystematik, die korrekte Zuordnung der Stoffe, die Bildung von Unterstoffen und die Korrektur von CAS-Nummern erwies sich erneut als sehr aufwändig. Einige der neuen Stoffe wurden jeweils nur von einzelnen, auf diese Analytik spezialisierten Laboren, zum Teil mit sehr niedrigen Bestimmungsgrenzen, ausgewertet.

Datensätze für Einzelmessungen konnten nur für Formaldehyd abgegeben werden. Für VOC musste ein Mindestumfang an Stoffen (zum Beispiel mittels DNPH/HPLC messbarer Substanzumfang) erfasst werden.

Zu jedem Messwert musste die dem Verfahren bzw. der konkreten Probenahme zugrunde liegende Bestimmungsgrenze angegeben werden, so dass eine nachträgliche Filterung der Daten, bezogen auf die Bestimmungsgrenze, möglich ist. Aufgrund der bei einigen Stoffen sehr unterschiedlichen und teilweise hohen Bestimmungsgrenzen kann durch das Ausfiltern von Datensätzen mit hoher Bestimmungsgrenze eine höhere Genauigkeit erreicht werden.

Da den laborsspezifischen Summenwerten keine einheitliche Definition zugrunde liegt, wurden mit Ausnahme der TVOC Werte keine weiteren Summen ausgewertet oder nachträglich gebildet.

Der Anteil der Thermodesorption hat innerhalb des Beobachtungszeitraumes weiter zugenommen und stellt inzwischen das Standardverfahren für die Messung flüchtiger organischer Verbindungen in Innenräumen dar. XAD-Methoden waren bereits vorab ausgeschlossen worden. Neu aufgenommen wurde das GC/MS Verfahren mit der Probenahme auf PU-Schaum zur Bestimmung der Flammschutzmittel auf Basis der Phosphorsäureester sowie die Abklingmethoden für CO₂ oder SF₆ zur Bestimmung der Luftwechselrate. Die von der AGÖF angebotenen Laborvergleichsmessungen wurden entsprechend erweitert.

Erfasst und ausgewertet wurden auch Stoffe, die mit den hier eingesetzten Verfahren nicht sicher quantifiziert werden können, wie zum Beispiel die Alkansäuren. Auch wenn deutliche Minderbefunde für die kurzkettigen Alkansäuren vermutet werden, entspricht die hier eingesetzte Analytik der noch üblichen Praxis.

Nicht erfasst wurden weitere, nicht substanzspezifisch identifizierte Verbindungen innerhalb und außerhalb des TVOC. Zukünftig wäre eine Ergänzung weiterer Stoffe sowie die Bildung von VVOC- und SVOC-Summenwerten für die Bewertung von Innenraumbelastungen hilfreich.

Auch die Aufnahme weiterer Verfahren für eine exakte oder zusätzliche Bestimmung weiterer flüchtiger organischer Verbindungen, zum Beispiel für Phthalate, organische Säuren und Isothiazolinone, wäre wünschenswert.

16.4 Vorkommen

Die „natürlicherweise“ oder quasi als Hintergrundbelastung auftretenden VOC-Konzentrationen in Innenräumen sind sehr gering. Das Vorkommen von VOC in Innenräumen ist i.d.R. quellenbezogen.

Viele der in diesem Vorhaben erfassten Stoffe wurden in den untersuchten Innenräumen eher selten oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Insgesamt lagen 68,2 % der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze. Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden mit der Hälfte des Wertes der Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Für viele Stoffe stellen die unteren Perzentile die anhand der Bestimmungsgrenze berechnete Konzentration dar.

Nur ein geringer Teil der untersuchten VOC konnte in fast allen Proben nachgewiesen werden. Hierzu gehören Acetaldehyd, n-Hexanal, Formaldehyd, Toluol und m,p-Xylol. Die Spannweiten, mit denen die Einzelstoffe in den untersuchten Innenräumen nachgewiesen wurden, waren sehr groß. Hohe Konzentrationen traten zum Beispiel für die VVOC 2-Propanol und Aceton auf. Für 2-Propanol wurde mit über 12 mg/m³ die höchste Konzentration eines Einzelstoffes in der Raumluft ermittelt. Sehr hohe Maximalwerte mit mehreren Tausend µg/m³ wurden auch für Δ-3-Caren, α-Pinen, 2-Butanonoxim, Toluol, m,p-Xylol, Cyclohexan, Naphthalin und n-Butylacetat gemessen.

Hohe Konzentrationen können in Innenräumen durch Restemissionen der leichter flüchtigen Lösungsmittel, flüchtige organische Abspaltprodukte oder Treibmittel entstehen. Weniger hohe Einzelstoffkonzentrationen liegen in der Regel für Restmonomere und Additive vor. Ebenfalls durch weniger hohe Einzelstoffkonzentrationen bei häufig länger anhaltender Belastung zeichnen sich Reaktionsprodukte, wie z.B. Aldehyde, Alkohole und Säuren sowie schwerer flüchtige organische Verbindungen und Verbindungen mit der Neigung, Sekundärquellen zu bilden, aus.

Aufgrund der Vielfalt der in Innenräumen möglicherweise vorkommenden flüchtigen organischen Verbindungen ist es nicht möglich, den Untersuchungsumfang zu reduzieren. Es werden zwar in der Regel nur wenige Stoffe in auffälligen Konzentrationen nachgewiesen, aber es kann sich durchaus um Stoffe handeln, die nicht vermutet wurden bzw. die selten in Innenräumen nachgewiesen werden. Da sich zudem stoffliche Veränderungen der Produkte, die als mögliche Quellen in Innenräumen vorliegen, kontinuierlich vollziehen, ist es nicht nur notwendig, das Substanzspektrum stetig zu erweitern, sondern auch, Aussagen über das Vorhandensein weiterer, noch nicht identifizierbarer Stoffe treffen zu können.

Für die Beurteilung von Raumluftbelastungen bieten aktuelle statistische Kenndaten für Stoffgemische und Einzelstoffe eine wichtige Grundlage (Seifert 1999, UBA 2007). Hierbei werden die Messergebnisse mit statistischen Kennwerten ausgewählter Studien, die dazu dienen, eine „normale“ VOC-Belastung in Innenräumen zu erfassen, verglichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich statistisch abgeleitete Werte jeweils auf die zugrunde liegende Datenbasis und Durchführung der Untersuchungen beziehen (zur Diskussion siehe auch Oppl et al. 2000, Hippelein 2003).

In der Vergangenheit wurden verschiedene Studien mit Vergleichswerten zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in Innenräumen (u.a. Krause et al. 1991, Heinzow et al. 1994, Scholz 1998, Schleibinger et al. 2001, Schleibinger et al. 2002, Hott et al. 2004) sowie die Studie der AGÖF (Hofmann et al. 2008) und der Kinder-Umwelt-Survey (KUS) des Umweltbundesamtes (Umweltbundesamt 2008) veröffentlicht. Die Untersuchungen unterscheiden sich sowohl in Bezug auf das ausgewählte Untersuchungskollektiv als auch in Bezug auf die Rahmenbedingungen der Probenahme und die Analytik.

Bei anlassbezogenen Innenraumuntersuchungen liegen die oberen Perzentile der Verteilung bestimmter Stoffkonzentrationen außerhalb einer anzunehmenden logarithmischen Normalverteilung der Konzentrationswerte. Im Vergleich mit den Ergebnissen aus anderen, nicht-anlassbezogenen, sondern auf einer bevölkerungsrepräsentativen Auswahl beruhenden Studie, zeigt sich daher häufig eine Verschiebung der oberen Perzentile zu höheren Konzentrationswerten bei vergleichsweise niedrigen, unteren Perzentilen.¹

16.5 Einflussfaktoren

16.5.1 Raumnutzung

Studien zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft beziehen sich in der Regel auf eine u.a. über die Raumnutzungsart definierte Stichprobe. So wurden zum Beispiel Referenzwerte für Wohnräume (Krause et al. 1991, KUS 2008, Lux et al. 2001, Liwotew, Tappler), Schulen bzw. Schulen und Kindergärten (Heinzow et al. 1994, Schreiner et al. 2001, Ostendorp et al. 2009, Neumann et al. 2012) und für Büroarbeitsplätze (Schlechter et al. 2004, Hahn et al 2011) veröffentlicht.

Im Rahmen des Vorhabens wurden die Gebäudenutzungsarten „gewerbliche Nutzung“ (n=1687), „Wohngebäude“ (n= 1425) und „pädagogische Einrichtungen“ (n=1096) differenziert (siehe hierzu Kapitel 6.2.5). Da auch in Wohngebäuden und pädagogischen Einrichtungen „Büroräume“ untersucht wurden, dominierte die Raumnutzung „Bürraum“ mit 1781 Räumen gegenüber den Kategorien „Wohnraum“ mit 1423 Räumen sowie „Klassenraum“ mit 547 Räumen und „Gruppenraum“ mit 221 Räumen (siehe hierzu Kapitel 6.3.1).

Die Ableitung der statistischen Kenndaten, getrennt für die Raumnutzungsarten „Bürraum“, „Wohnraum“ und „Klassenraum“ aus den Gesamtdaten der anlassbezogenen Messungen, ergab für viele Stoffe höhere Konzentrationen der oberen Perzentile in den untersuchten Klassenräumen. Dagegen wurden in den untersuchten Büroräumen in der Regel niedrigere Konzentrationen ermittelt. Im Teil B waren die Unterschiede bezogen auf den Raumnutzungstyp „Wohnraum“ und „Klassenraum“ geringer.

Auffällig waren in den Klassenräumen u.a. die höheren Perzentile für 2-Butanonoxim, Benzothiazol, Styrol, 2-Ethylhexanol und Formaldehyd. In Wohngebäuden wurden höhere Konzentrationen an Limonen und Hexanal festgestellt, während die Büroräume höhere Konzentrationen für Cyclohexan aufwiesen. Während hohe Konzentrationen für 2-Butanonoxim im Zusammenhang mit der Verwendung von Butanonoxim-bspaltenden Fugendichtmassen beschrieben wurden (Hofmann 2011 und 2012) können Benzothiazol, Styrol und 2-Ethylhexanol im Zusammenhang mit den in Schulen dominierenden Bodenbelagstypen stehen. Die hohen Formaldehydkonzentrationen sind möglicherweise als Hinweis auf älteres Schulmobilier aus Spanplatten zu bewerten. In 20 Fällen (7,7 %) wurde der Formaldehydrichtwert in Schulen überschritten. Dagegen lag die Anzahl der Richtwertüberschreitungen für die gesamte Datenbasis bei 4,3 %. Für Limonen sind in Innenräumen vielfältige Quellen in Betracht zu ziehen, da es als Lösungsmittel und Duftstoff eingesetzt wird, aber auch aus Zitrusfrüchten freigesetzt werden kann. Für Hexanal kommen insbesondere Holzwerkstoffe, wie zum Beispiel OSB-Platten und trocknende Öle (Leinöl), als mögliche Quellen in Frage. Cyclohexan stellt u.a. ein Lösungsmittel in Druckfarben dar.

Die festgestellten Unterschiede bezogen auf die Raumnutzungsart spiegeln die Unterschiede in Bezug auf den Zustand, die Ausstattung, den Betrieb und die Nutzung der Räume wider. Während für Schulen elastische Bodenbeläge wie Kautschuk, Linoleum oder PVC, eingeschränkte Belüftung außerhalb der Schulzeit - zum Teil auch während der Schulzeit, Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten in den Ferien – ohne begleitendes Lüftungsmanagement, die Art der Reinigung und ein vergleichsweise ähnliches

¹ Zur Verschiebung der oberen Perzentile bei anlassbezogenen Messungen siehe auch Hofmann et al 2008 und AGÖF 2013.

Schulmobiliar typisch sind, werden Kindergärten häufiger in Holzständerbauweise errichtet und mit Massivholzmobiliar und Spielgeräten ausgestattet. Dagegen können für Wohn- und Büroräume größere Unterschiede in Bezug auf die Nutzung und Ausstattung vorliegen, so dass sich hier eher spezifische Belastungssituationen auswirken.

Es stellt sich die Frage, wie differenziert oder definiert Studien zur Bereitstellung von Vergleichsdaten für die Bewertung von VOC-Messwerten im Einzelfall sein sollten, da neben der Art der Raumnutzung weitere Einflussfaktoren die Raumluftkonzentrationen in Innenräumen beeinflussen. Höhere Referenzwerte in Schulen sollten nicht dazu führen, gerade in pädagogischen Einrichtungen eine schlechtere Raumluftqualität zu akzeptieren. Hinzu kommt, dass die Raumluftmessungen in Schulen üblicherweise außerhalb der Unterrichtszeit, also ohne Schüler, durchgeführt werden, wohingegen die Probenahmen in Büro- oder Wohnräumen häufiger während ihrer Nutzung durchgeführt werden können. Für Schulen und Kindergärten sind erhebliche Unterschiede zwischen den VOC-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Nutzung der Räume zu erwarten. Durch die Aktivität von Kindern und Jugendlichen, die hieraus resultierende Veränderung der Luftströmung und der raumklimatischen Bedingungen und den Eintrag von flüchtigen organischen Verbindungen aus Körperpflege- und kosmetischen Produkten können deutlich höhere VOC-Konzentrationen während der Nutzung im Vergleich zum ungenutzten Zustand entstehen. Vor diesem Hintergrund sowie unter Berücksichtigung der CO₂-Problematik ist um so mehr eine gute Raumluftqualität in Schulen notwendig.

Das Vorkommen von VOC in Innenräumen ist nicht primär abhängig von der Nutzungsart eines Raumes, sondern von der möglicherweise für eine Nutzungsart typischen Bauweise, Ausstattung, Belüftung und Aktivität innerhalb des Raumes.

Die Bewertung der Auffälligkeit des Vorkommens von Stoffkonzentrationen in Innenräumen ist jeweils kontextgebunden zu beurteilen.

16.5.2 Baualtersklasse

Die Einteilung der Baualtersklassen wurde abgeleitet von der Gebäudetypologie für Wohngebäude in Deutschland des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) nach Diefenbach et al. 2010, um eine Verknüpfung des Baualters mit Kennwerten für die Energieeffizienz, wie zum Beispiel dem Heizwärmebedarf, herstellen zu können.

Vor dem Hintergrund der Flüchtigkeit bzw. temporären Belastungen wurden zunächst keine wesentlichen Unterschiede der VOC-Konzentrationen bezogen auf die Baualterklasse des Gebäudes erwartet, da angenommen werden kann, dass neue Produkte im Zuge von Renovierungs- oder Erneuerungsmaßnahmen in allen Baualtersklassen ähnlich häufig eingesetzt werden. Spezifische, baualtersabhängige Belastungssituationen können sich anhaltend auf die Raumluftqualität auswirken, wenn es sich um dauerhafte Quellen handelt. Dies ist zum Beispiel bei der Freisetzung von Formaldehyd aus dem Bindemittel der Spanplatten in älteren Fertighäusern der Fall. Ebenso ist auch davon auszugehen, dass verbaute Quellen mit reduziertem Abklingvermögen sowie sehr potente Quellen und die Ausbildung erheblicher Senken (Sekundärquellen) auch für VOC ein anhaltendes Belastungspotenzial, vergleichbar mit dem schwerer flüchtiger Verbindungen, zur Folge haben. Insofern stellte sich die Frage, ob spezifische Belastungssituationen für bestimmte Gebäudealterklassen in der Auswertung erkennbar sind.

Für Formaldehyd wurden deutlich höhere Konzentrationen in der Teilgruppe der Gebäude von 1959 bis 1978 ermittelt. In dieser Gruppe ist der Anteil an Fertighausobjekten in Leichtbauweise besonders hoch.

Für Naphthalin wurden bei der auf die Baualtersklasse bezogenen Auswertung höhere Konzentrationen in älteren Gebäuden (Baujahr vor 1948) ermittelt. Als mögliche Quelle kann das Vorkommen von Teerprodukten in Frage kommen.

Bei neuen Gebäuden ist davon auszugehen, dass sich hier die zeitliche Nähe zur Fertigstellung des Gebäudes und die Reduktion der Luftwechselrate auf die Höhe der VOC-Konzentrationen auswirken können. So war beispielsweise in der Baualtersklasse ab 2007 der Anteil an Abnahmemessungen höher. In dieser Gruppe erreichten die Mediane, das 90. und das 95. Perzentil für den TVOC, Hexanal und α -Pinen jeweils die höchsten Konzentrationswerte. Auch für Styrol waren die Konzentrationen in den neuen Gebäuden überwiegend höher. Erhöhte Styrolkonzentrationen können im Zusammenhang mit dem vermehrten Einsatz von Polystyrolämmstoffen in neuen Gebäuden stehen.

16.5.3 Trends

Durch die Zusammenführung der Ergebnisse aus den Projekten VOC DB I und VOC DB II können statistische Kenndaten für die untersuchten Substanzen über einen Zeitraum von 10 Jahren (von 2002 bis 2012) vergleichend betrachtet werden. Die zeitliche Zuordnung erfolgte über den Zeitpunkt der Probenahme.

Neben den Veränderungen des Stoffspektrums in den untersuchten Innenräumen sind für die zu beobachtenden Unterschiede auch die Entwicklungen in der Analytik relevant.

Methodische Einflüsse können sich z.B. in Minderbefunden für polare flüchtige organische Verbindungen zu Beginn des Beobachtungszeitraumes ausdrücken. Durch die Zunahme des TDS-Verfahrens in der Analytik hat sich der Substanzumfang deutlich erweitert. Dementsprechend sind die Fallzahlen für einige der untersuchten Verbindungen in den ersten Jahren deutlich geringer. Der TVOC-Summenwert wurde erst ab 2006 in der Datenbank erfasst.

Für nahezu alle Stoffe konnte ein rückläufiger Trend der Konzentrationen festgestellt werden. Ausnahmen stellen u.a. Styrol, Formaldehyd, Benzaldehyd und der TVOC-Wert dar.

Die Ergebnisse spiegeln sehr deutlich die Wirkung gesetzlicher Regelungen, z.B. in Form von Stoffverboten, Stoffbeschränkungen und Änderung der Einstufung bzw. Deklarationspflicht/Warnhinweise, wider. So setzt sich der bereits 2008 festgestellte Trend des Rückgangs der Aromaten auch innerhalb des zweiten Projektes fort. Weiterhin deutlich rückläufig ist auch das Vorkommen der Halogenkohlenwasserstoffe in den untersuchten Innenräumen. In vielen Anwendungsbereichen ist die Substitution zwingend und somit die Verwendung von Halogenkohlenwasserstoffen nicht mehr zulässig.

Trotz der Beschränkung der Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen zeichnet sich dagegen kein Rückgang der Formaldehydbelastungen in den untersuchten Innenräumen ab. Hierzu tragen allerdings auch die aktuellen Untersuchungsergebnisse aus der belasteten Teilgruppe der Fertighäuser aus den 60iger und 70iger Jahren bei.

Obwohl technisch sehr geringe Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen erreichbar sind, können auch bei neueren Untersuchungen in neuen Gebäuden noch erhöhte Formaldehydkonzentrationen festgestellt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Ergebnisse als möglicher Hinweis darauf gewertet werden können, dass die Konzentrationen der Einzelstoffe in Innenräumen zurückgegangen sind, aber die Anzahl der in Innenräumen nachgewiesenen Stoffe zugenommen hat.

Dies ist einerseits auf die umfangreichere Analytik zurückzuführen, aber auch ein Zeichen dafür, dass die Anzahl zu betrachtender Stoffe in den untersuchten Innenräumen durch die Zunahme der Quellen steigt.

16.5.4 Zeitpunkt der Probenahme nach Renovierung oder Neubau

Zu den häufigsten Quellen für flüchtige organische Verbindungen in Innenräumen gehören Bauprodukte und Innenausstattungen, neben Bedarfsgegenständen, Reinigungsmitteln, Kosmetika und Bastelprodukten. Da viele Produkte noch Restemissionen flüchtiger organi

scher Verbindungen aufweisen, die mit der Zeit abklingen, ist zu erwarten, dass neue Produkte ein höheres Emissionspotenzial aufweisen.

Wie schnell die Produktemissionen im Innenraum abklingen können, ist dabei abhängig von der Art und der Menge des Produktes, dem Anwendungszeitpunkt und Lage im Gebäude, möglichen Senken, der Art der Stoffe sowie den raumklimatischen Bedingungen und der Luftwechselrate.

Für einige Stoffe kann das Abklingen der Konzentrationen anhand der Auswertung der VOC-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Zeitdauer zwischen der Probenahme und der Verwendung oder Neuanschaffung dargestellt werden.

Da Angaben zur Art und zum Zeitpunkt der Renovierung erst ab 2011 verpflichtend gemacht wurden und die Untersuchungen der neuen Gebäuden (Abnahmemessungen) als hiervon getrennte Teilgruppe ausgewertet wurden, waren die Fallzahlen für die verschiedenen Zeitpunkte nach Renovierung und Neuanschaffung relativ niedrig. Die Einteilung der Kategorien erfolgte bezugnehmend auf die in der VOC DB I verwendete Systematik.

Je nach Produkt und Stoff liegen unterschiedliche Emissionscharakteristika vor. Für die als „klassische“ Lösungsmittel an Oberflächen eingesetzten Stoffe, wie z.B. Aromaten oder Alkane, lässt sich eine typische Abklingcharakteristik anhand der zeitlichen Kategorisierung darstellen. Typisch für neu errichtete oder modernisierte Gebäude ist z.B. auch der Nachweis von 2-Butanon (MEK). Der Zeitpunkt der Messung in Bezug auf die Verwendung oder Erneuerung VOC-freisetzender Produkte stellt für diese Stoffe einen der wesentlichen Einflussfaktoren für die Höhe der Konzentration im Innenraum dar.

Dagegen kann bei Stoffen mit reduzierter Flüchtigkeit auch ein Anstieg der Konzentrationen mit zunehmender Dauer nach dem Einbau vorliegen, wie dies für einige der eher dem SVOC-Bereich zuzuordnenden Stoffe der Fall sein kann. Stoffe, für die diverse, u.a. nutzungsbezogene Quellen oder konstante Emissionsraten zu erwarten sind, wie z.B. Limonen oder Formaldehyd, zeigen in der statistischen Auswertung keinen Konzentrationsrückgang mit zunehmender Zeitdauer nach Renovierung oder Neuanschaffung.

Insofern liefern Wiederholungsmessungen in Innenräumen, die darauf abzielen, das Abklingen von Belastungen zu prüfen, auch wichtige Informationen über mögliche Quellen und die Ursache der Belastung.

16.5.5 Lüftungsbedingungen

Bei anlassbezogenen Messungen werden in der Regel die Ausgleichskonzentrationen der zu untersuchenden Stoffe in der Raumluft bestimmt. Hierzu soll bei Objekten mit manueller Belüftung der betreffende Raum nach einer Stoßlüftung über mindestens 8 Stunden nicht belüftet werden. Die Probenahme erfolgt dann bei geschlossenen Fenstern und Türen. In Räumen mit einer raumluftechnischen Anlage soll diese seit mindestens 3 Stunden vor der Probenahme in Betrieb sein.

Dagegen sehen die Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG und die Arbeitsstättenrichtlinie Messungen in Räumen mit einer Lüftungsanweisung in gelüfteten Räumen vor. Für Schulen sieht das Nutzungsszenario in Räumen mit manueller Belüftung eine Pausenlüftung und die Kurzzeitprobenahme am Ende einer Unterrichtsstunde, also 45 Minuten nach der Lüftung, vor.

Inzwischen ist vorgesehen, das Lüftungsszenario zu vereinheitlichen und neben Büros auch in Klassenräumen, die ebenfalls Arbeitsplätze darstellen, eine Stunde nach der Stoßlüftung die Probenahme durchzuführen.

Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, wurden in den vor bzw. während der Probenahmen manuell oder mechanisch gelüfteten Räumen überwiegend deutlich niedrigere Raumluftkonzentrationen ermittelt.

In der Praxis kann die Vorgabe, einen Raum aufgrund erhöhter VOC Konzentrationen jede Stunde gründlich zu belüften, eine nicht realisierbare Aufgabe darstellen.

Um das Vorhandensein möglicher Belastungsquellen in einem Raum abzuklären, ist eine Messung der Ausgleichskonzentrationen möglichst unter ungünstigen, aber noch realistischen Bedingungen erforderlich. Bei Probenahmen im Anschluss an eine manuelle Belüftung des Raumes ist in der Regel die Standardisierbarkeit der Probenahmebedingungen weniger gut gegeben, da die Effektivität der Belüftung sowohl von der Lage und Art der Fenster als auch von den klimatischen Bedingungen wie Temperatur und Wind abhängt.

16.6 Vergleich mit Richtwerten

Da keine Summenwerte gebildet wurden, erfolgt hier keine Gegenüberstellung mit Summenrichtwerten, zum Beispiel für azyklische, aliphatische C₄ bis C₁₁ Alkanale oder Siloxane D3 bis D6, was zukünftig sicherlich noch wünschenswert wäre, ebenso wie die Bildung der Defaultsummenwerte für weitere Glykolester und Glykolether.

Die in der Tabelle genannten Richtwerte entsprechen dem Stand der bis März 2013 veröffentlichten Richtwerte der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (UBA 2013). Inzwischen wurde der Richtwert für Naphthalin durch einen Summenwert für Naphthalin, weitere Methylnaphthaline und flüchtige PAK ersetzt. Weitere Richtwerte, zum Beispiel für Acetaldehyd, wurden ergänzt. Bereits in die Tabelle aufgenommen wurde der Vorschlag für den Richtwert für Essigsäure gemäß Protokoll der 43. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte IRK/AOLG im April 2011.

Interessant wäre auch ein Vergleich der Daten mit den zwischenzeitlich seitens der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte vorgeschlagenen, vorläufigen Geruchsschwellenwerten (UBA 2013) für Einzelstoffe - auch vor dem Hintergrund der Frage, ob im Zusammenhang mit der Überschreitung eines vorläufigen Geruchsschwellenwertes eine Geruchsbildung wahrgenommen oder bemängelt wurde, z.B. in Verbindung mit dem Anlass der Messung und/oder der Geruchsbewertung des Probenehmers.

Richtwert-II-Überschreitungen wurden eher selten festgestellt. Der Innenraumrichtwert für Formaldehyd in Höhe von 120 µg/m³ wurde hier als Gefahrenwert entsprechend Richtwert II eingeordnet. Bei 87 (4 %) von 2035 Messungen wurde der Formaldehydrichtwert überschritten. Für Naphthalin wurde der Richtwert II in Höhe von 20 µg/m³ in 40 Fällen (1 %) überschritten; für Benzaldehyd wurden 17 (0,5 %) Richtwert-II-Überschreitungen festgestellt. Für Toluol wurden zwei Fälle und für Styrol und EGMB jeweils ein Fall gemessen. Der für Essigsäure vorgeschlagene Richtwert II wurde in 14 Fällen überschritten.

Bei den Richtwert-I-Überschreitungen erreichten Naphthalin mit 248 und Benzaldehyd mit 241 Fällen die höchsten Fallzahlen (> 6 %). Etwa 3 % der Styrolmesswerte überschritten den Richtwert I. Von den untersuchten Glykolethern und Glykolestern wurden für EGMB die meisten Richtwert-I-Überschreitungen gemessen. In 35 Fällen (1,3 %) wurde der Richtwert I für Phenol überschritten. Für alle übrigen in der Tabelle 37 aufgeführten Stoffe war die Anzahl der Richtwert-I-Überschreitungen kleiner 1 %.

Tabelle 37 zeigt die Anzahl der Richtwertüber- und -unterschreitungen für Einzelstoffe.

Tabelle 37 Anzahl der Richtwertüber- und unterschreitungen für Einzelstoffe. %>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.

		Gesamt	< BG	% >BG	RWI	n>RWI	n≤RWI	>RWI [%]	RWII	n>RWII	n≤RWII	>RWII [%]
108-88-3	Toluol	3664	188	94,9	300	10	3654	0,273	3000	2	3662	0,055
100-41-4	Ethylbenzol	3652	863	76,4	200	4	3648	0,11	2000	0	3652	0
100-42-5	Styrol	3652	1304	64,3	30	110	3542	3,012	300	1	3651	0,027
108-95-2	Phenol	2598	1241	52,2	20	35	2563	1,347	200	0	2598	0
91-20-3	Naphthalin ²	3619	2233	38,3	2	248	3371	6,853	20	40	3579	1,105
100-51-6	Benzylalkohol	3311	2247	32,1	400	20	3291	0,604	4000	0	3311	0
50-00-0	Formaldehyd	2035	71	96,5					120 ³	87	1948	4,275
100-52-7	Benzaldehyd	3684	947	74,3	20	241	3443	6,542	200	17	3667	0,461
98-01-1	Furfural	1611	795	50,7	10	14	1597	0,869	100	0	1611	0
108-10-1	Methylisobutylketon	3642	2432	33,2	100	13	3629	0,357	1000	0	3642	0
111-15-9	Ethylenglykolmonoethyletheracetat	3519	3504	0,4	200	0	3519	0	2000	0	3519	0
112-07-2	Ethylenglykolmonobutyletheracetat	3565	3428	3,8	200	1	3564	0,028	2000	0	3565	0
109-86-4	Ethylenglykolmonomethylether	3486	3429	1,6	20	9	3477	0,258	200	0	3486	0
110-80-5	Ethylenglykolmonoethylether	3531	3224	8,7	100	0	3531	0	1000	0	3531	0
111-76-2	Ethylenglykolmonobutylether	3550	1183	66,7	100	39	3511	1,099	1000	1	3549	0,028
111-77-3	Diethylenglykolmonomethylether	2900	2857	1,5					2000	0	2900	0
111-90-0	Diethylenglykolmonoethylether	3361	2630	21,7	700	8	3353	0,238	2000	0	3361	0
112-34-5	Diethylenglykolmonobutylether	3540	2399	32,2	300	2	3538	0,056	1000	0	3540	0
107-98-2	1,2-Propylenglykolmonomethylether	3548	860	75,8	1000	1	3547	0,028	10000	0	3548	0
1569-02-4	Propylenglykolmonoethylether	1715	1646	4	300	0	1715	0	3000	0	1715	0
34590-94-8	Dipropylenglykolmonomethylether	2871	1629	43,3	2000	0	2871	0	7000	0	2871	0
111-96-6	Diethylenglykoldimethylether	1693	1693	0	30	0	1693	0	300	0	1693	0
112-25-4	2-Hexoxyethanol	1592	1591	0,1	100	0	1592	0	1000	0	1592	0

² Der Richtwert für Naphthalin wurde zwischenzeitlich geändert.

³ Innenraumrichtwert für Formaldehyd gemäß gemäß BGA/BfR (UBA 2006)

		Gesamt	< BG	% >BG	RWI	n>RWI	n≤RWI	>RWI [%]	RWII	n>RWII	n≤RWII	>RWII [%]
64-19-7	Essigsäure ⁴	1863	239	87,2					400	14	1849	0,751
13674-84-5	Tris(2-chlorisopropyl)phosphat	99	30	69,7	5	0	99	0	50	0	99	0

⁴ Richtwertableitung der Ad-Hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK/AOLG gemäß Protokoll der 43. Sitzung vom 05. und 06.04.2011

16.7 Trends bei modernisierten Gebäuden und Neubauten und unterschiedlichen Lüftungstypen

Für die Gesamtdaten Teil A erfolgte eine Gruppierung der Objekte anhand der Baualterklasse, der Angaben zur Modernisierung und der Belüftungsart. Exemplarisch wurden für den TVOC-Summenwert und Formaldehyd statistische Kenndaten ermittelt und vergleichend betrachtet. Aufgrund der geringen Fallzahlen für Objekte mit technischer Lüftung liefert die Auswertung zunächst Hinweise auf Tendenzen.

Für den TVOC wurden die höchsten Konzentrationen in modernisierten Gebäuden der Baujahre vor 2007 ohne Lüftungsanlage ermittelt. Das 90. Perzentil lag in dieser Gruppe bei 2840 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in der Gruppe mit Lüftungsanlage dagegen bei 473 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Höhere TVOC-Werte lagen in neuen Gebäuden ab 2007 ohne Lüftungsanlage vor. In den mit einer Lüftungsanlage ausgestatteten Objekten waren die Summenkonzentrationen jeweils deutlich niedriger. Während für den TVOC in der Gruppe neue Gebäude ab 2007 mit Fensterlüftung das 90. Perzentil bei 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lag, ergab die Auswertung für die Gruppe Gebäude ab 2007 mit technischer Lüftung ein 90. Perzentil von 756 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei nur wenigen der neuen Gebäude ab 2007 lag eine Modernisierung vor.

Für Formaldehyd zeigte sich durch den überproportionalen Anteil der Formaldehydmessungen in älteren Fertighäusern die am höchsten belastete Gruppe bei den Baujahren vor 1979. Das 90. Perzentil der Verteilung lag in dieser Gruppe bei 112 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Formaldehydbelastung in modernisierten Gebäuden der Baujahre vor 2007 unterschied sich nicht wesentlich von nicht modernisierten Gebäuden der Baujahre 1995 bis 2006. Auch hier ergaben die Formaldehydmessungen in Objekten mit einer Lüftungsanlage niedrigere Konzentrationen. Besonders auffällig war der Unterschied in der Gruppe der Gebäude ab 2007, die gegenüber den älteren Baujahren höhere Formaldehydkonzentrationen aufwiesen. Während in der Gruppe neue Gebäude ab 2007 mit Fensterlüftung das 90. Perzentil bei 98,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lag, ergab die Auswertung für die Gruppe Gebäude ab 2007 ohne Modernisierung mit technischer Lüftung den niedrigsten Wert mit einem 90. Perzentil von 35,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch hier war der Anteil an modernisierten Gebäuden ab 2007 gering. Auffällige Unterschiede zwischen modernisierten und nicht modernisierten Gebäuden ab 2007 waren nicht zu erkennen.

Die Ergebnisse bestätigen die aus der Praxis anhand von Fallbeispielen gewonnenen Einschätzungen. Eine Modernisierung bzw. energetische Sanierung von Bestandsgebäuden kann gegenüber Neubauvorhaben zu höheren VOC-Konzentrationen führen. Auch in neuen Gebäuden werden noch erhöhte Formaldehydkonzentrationen gemessen. In allen Gruppen waren die TVOC- und die Formaldehydkonzentrationen in den mit einer Lüftungsanlage ausgestatteten Objekten niedriger.

Ähnliche Ergebnisse ergaben auch die Auswertungen der VOC-Konzentrationen aus den Objekten für den Teil B. In der Teilgruppe B entsprach der Energiestandard der Gebäude mindestens ENEC 2002. Die Stichprobe war in Bezug auf die Bauweise und Neubau/Modernisierung durchmischte. Die Probenahmen erfolgten mindestens 6 Monate nach der Fertigstellung der Gebäude.

Eine vergleichende Betrachtung der Konzentrationsverteilungen in den Objekten mit technischer Lüftung und Fensterlüftung ergab auch hier niedrigere Konzentrationen in den Räumen mit technischer Lüftung. In den Räumen mit Fensterlüftung waren die LWR deutlich geringer als in den Räumen, die technisch belüftet wurden. Die Luftwechselraten jeweils zum Zeitpunkt der VOC-Messungen lagen in den Objekten mit Fensterlüftung durchschnittlich bei 0,130 /h. In den Objekten mit technischer Lüftung wurde die Luftwechselrate im Durchschnitt mit 0,629 /h bestimmt.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Probenahmebedingungen in den Objekten mit technischer Lüftung die Probenahme bei Betrieb der Lüftungsanlage vorsahen, während in den Objekten mit Fensterlüftung die Probenahme nach einer mindestens 8 stündigen Nichtbelüftung erfolgte.

Die Raumlufkonzentrationen stellen eine Funktion der Quellstärke und Luftwechselrate dar. Insofern war zu erwarten, dass die VOC-Konzentrationen mit steigender Luftwechselrate abnehmen. Der vergleichsweise geringe Unterschied für Benzol in den Objekten mit und ohne Lüftungsanlage lässt auf Benzoleinträge aus der Außenluft schließen, die mit den Konzentrationen in der Innenraumluf vergleichbar sind.

Für viele Stoffe konnte ein signifikanter Effekt des Lüftungstyps auf die Konzentrationen festgestellt werden. Eine signifikante Korrelation der Stoffkonzentration mit der Luftwechselrate wurde dagegen eher selten ermittelt. Auch bei niedrigen Luftwechselraten konnten bei beiden Lüftungstypen das Vorliegen geringer VOC-Konzentrationen festgestellt werden. Dagegen traten hohe VOC-Konzentrationen überwiegend bei niedrigen Luftwechselraten auf. Ausnahmen hiervon waren Einzelfälle, wie z.B. Glykolbelastung trotz technischer Lüftung und hoher Luftwechselrate.

Bei ähnlich niedrigen Luftwechselraten lagen häufig höhere Stoffkonzentrationen bzw. eine höhere Streuung der Stoffkonzentrationen in Räumen mit Fensterlüftung im Vergleich zu Räumen mit technischer Lüftung vor.

Das Risiko, dass Schadstoffbelastungen in neu errichteten oder sanierten Gebäuden auftreten, wird größer, wenn die Räume nicht ausreichend belüftet werden. Was

Aber auch eine hohe Belüftungsrate allein stellt nicht unbedingt eine ausreichende Absicherung gegenüber möglichen Raumlufbelastungen dar, da auch in Objekten mit hoher Luftwechselrate VOC-Belastungen festgestellt werden konnten.

Die in den neuen und modernisierten Gebäuden gemessenen niedrigen Luftwechselraten ($< 0,2/h$) stimmen mit den Ergebnissen anderer Autoren überein.

In einer Untersuchung von Kah et al. 2005 lag die durchschnittliche Luftwechselrate in den Objekten mit kontrollierter Lüftung (Grundlüftung) bei $0,22/h$ und ohne kontrollierte Lüftung bei $0,03/h$. Bei den Untersuchungen von Grams et al. 2002 und 2005 zu CO_2 -Belastungen in Klassenräumen schwankten die ermittelten LWR in den sieben untersuchten Schulen zwischen $< 0,1/h$ und $0,4/h$.

Ähnlich niedrige Werte wurden auch von Coutalides et al. 2008 veröffentlicht. In der Studie wurde die Luftqualität in Wohnbauten mit niedrigem Energieverbrauch untersucht. In 18 Wohngebäuden in Leichtbauweise erfolgten in verschiedenen Bauphasen Messungen auf VOC, Aldehyde und CO_2 . Die Studie ergab teilweise sehr hohe Formaldehyd- und VOC-Konzentrationen. Es konnte aufgezeigt werden, wie sich unterschiedliche Lüftungskonzepte auf die Raumlufqualität auswirkten. Die Formaldehydwerte stiegen nach Bauende an. Der Anstieg war in den Objekten mit Komfortlüftungssystemen ($LWR < 0,3/h$) größer, da in den Objekten mit Fensterlüftung ein höherer Luftwechsel erzeugt wurde. Die Lüftungssysteme waren im Normalbetrieb nicht in der Lage, die Schadstofffrachten abzulüften.

Die Untersuchungen von Tappler et al. 2014 zur Bewohnergesundheit und Raumlufqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern ergaben eine deutlich bessere Raumlufqualität in den Objekten mit mechanischer Lüftung. Dennoch wurden erhöhte VOC-Belastungen auch in den Haustypen mit mechanischer Lüftung festgestellt. In diesen Fällen war die mechanische Lüftungsanlage allein nicht ausreichend das Belastungsniveau auf hygienisch zufriedenstellende Werte abzusenken. Die Autoren schließen daraus, dass mehr Gewicht auf die Emissionsreduktion bei der Auswahl der Baustoffe und Materialien gelegt werden sollte.

17. Lösungsansätze

Trotz vieler Anstrengungen zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen ist zu befürchten, dass VOC-Belastungen in Innenräumen weiterhin ein Problem darstellen werden.

Bisher wurden Lösungsansätze auf einzelnen Ebenen bereits umgesetzt. So existieren für die Auswahl emissionsarmer Produkte neben der Emissionsprüfung im Rahmen der bauaufsichtlichen Zuklassung u.a. für Fußbodenbeläge, Bodenbelagskleber, Bodenbeschichtungen und Wandbekleidungen verschiedene Zertifizierungssysteme, die die Produktauswahl erleichtern sollen. Zu kommunalen Lösungsstrategien bei der Errichtung von Schulen und Kindertagesstätten gehören u.a. Vorgaben für die Produktauswahl in Form von Positivlisten oder Ausschlusskriterien, Durchführung von Abnahmemessungen, Vorgabe einer technischen Belüftung in Schulen und Kindergärten.

Die Ergebnisse der vorliegenden Datenerhebung und ihrer Auswertung zeigen, dass Stoffbeschränkungen und die Substitution von Lösungsmitteln in verschiedenen Anwendungsbereichen für viele flüchtige organische Verbindungen zu niedrigeren Konzentrationen in der Raumluft geführt haben, aber sich für den TVOC, die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen, kein Rückgang abzeichnet (siehe hierzu auch Abbildung 71).

Auch die Formaldehydergebnisse der untersuchten Innenräume lassen darauf schließen, dass trotz des allgemeinen Trends zu niedrigeren Formaldehydfreisetzungen aus Holzwerkstoffen kein genereller Rückgang der Formaldehydbelastungen in der Innenraumluft festzustellen ist (siehe hierzu auch Abbildung 64).

Da bei hier durchgeführten, überwiegend anlassbezogenen Messungen häufig Stoffkonzentrationen in Räumen erfasst wurden, bei denen Verdachtsmomente für mögliche Belastungen vorlagen, ist es wichtig, mögliche Einflussfaktoren differenziert zu betrachten, um Zusammenhänge bewerten und Lösungsansätze entwickeln zu können.

Die Ergebnisse der Datenbankauswertungen zeigen u.a., dass in neuen Gebäuden oder in Räumen mit sehr niedrigen Luftwechselraten höhere VOC-Belastungen auftraten. Diese Ergebnisse decken sich mit den Erfahrungen aus der Praxis mit Schadensfällen bei neuen oder umfangreich sanierten, dichten Gebäuden.

Dabei ist es wichtig zu berücksichtigen, dass in diesen Objekten nicht generell höhere VOC-Konzentrationen gemessen wurden, sondern eine größere Streuung der Messwerte bei vergleichbaren Medianwerten vorlag. Die Luft in neuen und energieeffizienten Gebäuden ist nicht zwangsläufig schlechter. Auch in neuen, dichten Gebäuden können sehr niedrige VOC-Konzentrationen vorliegen, und auch in älteren, weniger dichten Gebäuden können hohe Belastungen auftreten. Auch sind ältere Gebäude nicht per se besser belüftet. Eine weniger dichte Gebäudehülle führt nur witterungsabhängig und nicht bedarfsorientiert zu höheren Luftwechselraten und das meist mit unerwünschten Nebeneffekten.

So wie aus der Betrachtung von Schadensfällen mögliche Ursachen für Belastungen aufgezeigt werden können, ist es auch möglich, anhand der positiven Beispiele Lösungsansätze abzuleiten.

Für die Raumlufthygiene sind in der Regel nicht einzelne Faktoren allein entscheidend, sondern es handelt sich um ein komplexes Zusammenspiel mehrerer Faktoren. Auf der Grundlage der vorliegenden Datenerhebung ist festzustellen, dass neben einigen typischen Standardschadensfällen insbesondere Einzelfälle „typisch“ sind. Der Umfang der Stoffliste und die statistischen Auswertung zeigen, dass es nicht nur eine überschaubare Anzahl von flüchtigen organischen Verbindungen gibt, die in Innenräumen zu Problemen führen können. Neben den ca. 400 zur Zeit untersuchten Stoffe können auch noch weitere Verbindungen, die wir noch nicht substanzspezifisch quantifizieren können, zu Problemen führen. Daraus kann abgeleitet werden, wie vielfältig die Ursachen für VOC-Belastungen sein können bzw. wie vielfältig Lösungen bzw. Lösungsansätze sein müssen.

Abgesehen von scheinbar einfachen, spezifischen, „monokausalen“ Schadenssituationen, wie z.B. Formaldehydbelastungen in Fertighäusern aus den 70iger Jahren oder fehlerhaften Produkten, können die Ursachen und Zusammenhänge, die zu erhöhten VOC-Belastungen in Innenräumen führen, sehr komplex sein. Und entsprechend komplex stellen sich auch die Ansätze zu deren Vermeidung dar.

Die Luft in Innenräumen ist nicht „schlechter“, weil wir energieeffizienter Bauen. Die Raumluftqualität ist abhängig von der Art und Menge der Emissionsquellen und der Qualität der Lüftung, unabhängig davon, ob eine manuelle oder technische Lüftung besteht.

Bei genauerer Betrachtung handelt es sich nicht um einen Zielkonflikt zwischen Energieeffizienz und Raumluftqualität, was eine sehr vereinfachende, reduzierende und damit leider oft falsche Verknüpfung darstellt. Aber an dieser häufiger formulierten Gegenüberstellung lässt sich ablesen, wie wenig modernes Bauen insgesamt hinsichtlich der möglichen Auswirkungen auf die Raumlufthygiene hinterfragt wurde.

Für die Höhe der VOC-Belastungen sind grundlegend folgende Faktoren relevant und stellen Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Raumluftqualität bzw. Reduktion der VOC-Konzentrationen in Innenräumen dar:

- Art und Menge der Emissionsquellen
- Zeit, Abklingverhalten
- Luftwechselrate

Um konkrete Lösungsansätze zu entwickeln, ist es notwendig, diese Einflussgrößen weiter zu differenzieren:

Emissionsquellen

- Neue Produkte: Produktauswahl: je nach Art der Produkte, Menge, Einbauzeitpunkt, Lage im Objekt
- Bestand: Altlasten, Sekundärkontaminationen
- Welche Produkte werden für die Reinigung, Pflege und Instandhaltung eingesetzt
- Welche nutzer- und nutzungsbezogenen Quellen können auftreten

Zeit/Abklingverhalten

- Beschleunigung des Bauens, „Abklingen“ wird in die Nutzungsphase verschoben
- Kürzere Nutzungs- und Renovierungsintervalle, kürzere Lebensdauer von Produkten,
- Möglichkeiten der Vorfertigung von Bauteilen
- Bauzeitenplanung unter Berücksichtigung der Trocknungs-/Abklingphasen

Luftwechselrate

- Lüftungsmanagement während der Erstellung des Gebäudes oder baulichen Maßnahmen
- Lüftungsmanagement direkt nach der Fertigstellung des Gebäudes oder im Anschluss an bauliche Maßnahmen
- Lüftungsmanagement innerhalb und außerhalb der Nutzung
- Optimierung der Einstellung und Wartung von Lüftungsanlagen
- Verbesserung des Lüftungsverhaltens (Unterstützung durch Visualisierung z.B. mittels Sensoren)

Für ein konkretes Bauvorhaben bedeutet das: Um anhaltend erhöhte VOC-Konzentrationen in Innenräumen zu vermeiden, müssen Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen ergriffen und dauerhaft in den Betrieb und die Nutzung des Gebäudes integriert werden. Für die Planung ist es notwendig, ein individuelles Konzept zu entwickeln und konkrete Ziele zu vereinbaren. Phasen einer möglichen erhöhten VOC-Freisetzung müssen identifiziert und durch geeignete Maßnahmen gemindert werden. Für die Sicherung der Raumluftqualität sind Handlungsziele und Handlungsschritte in den jeweiligen Handlungsebenen notwendig.

Es ist in der Regel nicht zielführend, Einzelaspekte sehr intensiv zu bearbeiten, da ohne ein Gesamtkonzept, in das einzelne Bausteine eingebunden werden, häufig kein nachhaltig positives Gesamtergebnis erzielt werden kann. Auch bei sehr emissionsarmen Produkten kann z.B. die falsche Pflege zu störenden Emissionen führen oder aber ein sehr emissionsarmes Produkt kann ein Geruchsproblem darstellen.

Die Maßnahmen für die Sicherung der Raumluftqualität sollten die folgenden Bereiche umfassen:

- Auswahl schadstoff-, emissions- und geruchsarmer Produkte,
- Kontrollierter Einbau unter Berücksichtigung der Aufbringmengen, Trocknungszeiten, Belüftungsraten und möglicher Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Produkten,
- Bauüberwachung und Dokumentation,
- Lüftungsmanagement während der Errichtung des Gebäudes bzw. Renovierungs- oder Instandhaltungsmaßnahmen,
- Intensivierte Belüftung und Beheizung nach der Fertigstellung des Gebäudes bzw. Renovierungs- oder Instandhaltungsmaßnahmen,
- Einplanung und Durchführung von Kontrollmessungen,
- Ausreichende Belüftung der Räume im Betrieb sicherstellen,
- Einregelung und regelmäßige Wartung raumlufthygienischer Anlagen,
- Überprüfung der Einhaltung von Lüftungsanweisungen,
- Nutzungsaktivitäten und
- Produktanwendungen berücksichtigen,
- Verwendung schadstoff-, emissions- und geruchsarmer Produkte im Betrieb (z.B. für die Reinigung und Instandhaltung),
- Verwendung schadstoff-, emissions- und geruchsarmer Produkte bei Renovierungs- und Umbaumaßnahmen.

Bei der Planung baulicher Maßnahmen in Bestandsgebäuden ist zu berücksichtigen, dass aus der Bauweise von älteren Gebäuden anhaltende VOC-Belastungen resultieren können, die bereits Maßnahmen erfordern bzw. im Zusammenhang mit einer energetischen Modernisierung relevant werden. Statistisch sehr deutlich ist dies in Bezug auf die Formaldehydbelastungen der Fertighausobjekte aus den 60iger und 70iger Jahren. Auch Teerprodukte können anhaltende Quellen u.a. für Naphthalin darstellen. In der Auswertung wurden für Naphthalin höhere Konzentrationen in älteren Gebäuden gemessen.

Lösungsansätze für Bestandsgebäude erfordern auch die Untersuchung und Bewertung des Ist-Zustands, um ggfs. die Beseitigung von Belastungen einleiten zu können.

Bei den Auswertungen der VOC-Messdaten, untergliedert in die verschiedenen Nutzungstypen Wohnräume, Büroräume und Klassenräume fällt auf, dass in den untersuchten Klassenräumen häufiger höhere VOC-Konzentrationen gemessen wurden. Hieraus ist zu schließen, dass in Schulen - angenommen weitere Einflussfaktoren sind ähnlich verteilt wie in den Teilgruppen Wohnräume und Büroräume - aufgrund der Nutzungssituation spezifische Charakteristika für VOC-Belastungen resultieren können.

Hierzu können u.a. gehören:

- Belüftung nur während der Nutzung (nicht außerhalb der Schulzeit in den Ferien, am Wochenende oder nachmittags),
- Bauliche Maßnahmen, Instandhaltung, Grundreinigung erfolgen in den Ferien (Zeiten ohne regelmäßige Lüftung),
- Renovierungen finden häufiger statt,
- vermehrter Einsatz von Reinigungs- und Pflegemitteln mit VOC.

In der Praxis können vermeintlich „einfache Lösungsansätze“ einen kaum leistbaren Mehraufwand darstellen. Oftmals sind Handlungsanleitungen entweder zu allgemein oder zu speziell, so dass individuelle Systeme und Lösungsstrategien quasi für jedes Bauvorhaben, von jedem Auftraggeber neu entwickelt werden.

Eine nachfolgende Differenzierung der beschriebenen Lösungsansätze soll deren Umsetzbarkeit in der Praxis beleuchten.

Hierbei ist es wichtig, neben den Handlungsfeldern und Handlungsebenen auch die Akteure nicht zu vergessen.

Es werden zunächst die Handlungsfelder „Bauprodukte“, „Gebäude“, „Gebäudeerstellung und „Gebäudenutzung“ angeführt, wobei der Bereich „Bauprodukte“ aufgrund der ihm zukommenden Bedeutung als mögliche „Emissionsquelle“ ausführlicher dargestellt wird.

Bauprodukte:

Bauprodukte unterliegen in Deutschland bereits verschiedenen Vorgaben, die auf die Einhaltung von Umwelt- und Gesundheitsschutzanforderungen abzielen. So werden z.B. die VOC-, SVOC- und Formaldehydemissionen u.a. von Fußbodenbelägen, Klebstoffen, Bodenbeschichtungen und Wandbekleidungen begrenzt und überwacht. Darüber hinaus stehen verschiedene Umweltzeichen der Blaue Engel oder natureplus zur Verfügung, die die Auswahl von emissionsarmen Produkten erleichtern.

Die Akteure dieses Handlungsfeldes sind - auch entsprechend der unterschiedlichen in Betracht zu ziehenden Handlungsebenen - umfangreich. Sie kommen aus den Bereichen Hersteller, Anwender, Planer und Nutzer sowie Behörden, Prüfinstitute, Forschungseinrichtungen, Handel, Medien und Politik.

Anhand von verschiedenen Beispielen werden Handlungsmöglichkeiten im Sinne von Lösungsansätzen exemplarisch für verschiedene Handlungsfelder und Handlungsebenen aufgezeigt. Hierbei soll nicht auf die gesamte thematische und inhaltliche Fülle eingegangen werden, sondern jeweils „Nebenaspekte“ ins Blickfeld gerückt werden.

Ziel: Verbesserung der Produkte

Reduktion von Emissionen

Beispiel: Absenkung der zulässigen Formaldehydemission aus Produkten und Anpassung des Prüfverfahrens

Nicht nur die Absenkung selbst sondern auch die Frage, wie wird die Einhaltung des Grenzwertes überprüft, stellt eine entscheidende Einflussgröße der Formaldehydabgabe dar. „Strengere“ Prüfungen erfordern „bessere“ Produkte.

Die Überprüfung der Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen wird durch die europäische Norm EN 717-1 geregelt. Das Prüfkammerszenario stellt in Bezug auf die Beladung und die Luftwechselrate ein idealisiertes Anwendungsszenario dar. Eine Überarbeitung der Prüfmethode und eine Anpassung an die Realität bzw. den realistischen, ungünstigen Anwendungsfall einer höheren Beladung sind notwendig.

Es ist wenig hilfreich, Prüfbedingungen für Produkte und Anwendungen günstiger als dies in der Praxis der Fall ist auszuführen. Dies gilt für die Prüfung von Produkten und für die Prüfung von Innenräumen. Die Möglichkeiten „bessere“ Ergebnisse zu erzielen, sind vielfältig. Das lässt Statistiken besser aussehen, sichert aber nicht die Raumluftqualität.

Alein die Möglichkeit emissionsärmere Produkte herstellen zu können, bedeutet nicht die Verwendung dieser Produkte.

Aber auch realistische „worst-case“ Bedingungen stoßen an ihre Grenzen, wenn Produkte oder Räume entgegen ihrer vorgesehen Anwendung genutzt werden. Auch hier ist das Produkt jeweils im Gesamtsystem zu betrachten. Auch ein vergleichsweise emissionsarmes Produkt kann in einem wenig belüfteten Raum oder großflächig angewendet zu relevanten Immissionen führen.

Die Untersuchungsergebnisse des Vorhabens zeigen, dass Formaldehydbelastungen nicht nur auf großflächige Anwendungen von Holzwerkstoffen beschränkt sind. Da die Anwendungsmöglichkeiten für Formaldehyd sehr vielfältig sind, sollten Formaldehydbeschränkungen, so wie in anderen Ländern bereits umgesetzt, nicht nur für Holzwerkstoffe aufgestellt werden, sondern für Bau- und Ausstattungsprodukte generell gelten.

Ziel: Verwendung emissionsarmer Produkte

Verbesserung der Umsetzbarkeit

Beispiel: Auswahl emissionsarmer Produkte

Die Vorgabe, möglichst emissionsarme Produkte in einem Bauvorhaben einzusetzen, kann aus unterschiedlichen Gründen schwierig sein. Trotz der Vielfalt an angebotenen Prüfzeichen besteht keine Transparenz in Bezug auf die festgestellten Emissionen. So verpflichten sich beispielsweise die Hersteller der mit dem Ecode ausgezeichneten Produkte zur Nichtweitergabe der Prüfberichte. Es kann hier also lediglich anhand des Zertifikates die Einhaltung bestimmter Anforderungen bezogen auf ein festgelegtes Prüfverfahren geprüft werden. Die Emissionswerte im Einzelnen können nicht geprüft werden. Entgegen der eigentlichen Intention der Norm DIN EN ISO 16000-9, Emissionsdaten zur Bewertung des Einflusses auf die Innenraumluftqualität zur Verfügung zu stellen, besteht hier keine Transparenz.

Eine fachliche Prüfung vorgelegter Prüfberichte ist für Laien kaum möglich. Die Anforderungen an die Produkte unterscheiden sich je nach Anwendungsart. Unterschiedliche Prüfbedingungen und Berechnungsverfahren können sich sehr deutlich auf das Gesamtergebnis auswirken, was für Verbraucher meistens nicht nachvollziehbar ist. Auf europäischer Ebene wird die Harmonisierung der Prüfung und Bewertung von Bauprodukten angestrebt.

Für bestimmte Produkt- und Anwendungsbereiche gibt es leider nur sehr wenige geprüfte Produkte, z.B. bei Produkten, bei denen Design und/oder Funktionalität im Vordergrund stehen oder keine Relevanz für den Innenraum vermutet wird.

Die Vergleichbarkeit der Label und damit entsprechend auch der geprüften Produkte ist schwierig, sowohl zwischen verschiedenen Prüfzeichen einer Produktgruppe als auch für verschiedene Produktgruppen innerhalb eines Umweltzeichens. So gibt es z.B. auch unterschiedliche „strenge“ Anforderungen für den Blauen Engel.

Die mit der Zulassung emissionsgeprüfter Bodenbeläge verknüpfte Aussage „geeignet für die Anwendung im Innenraum“ ist nicht vermittelbar, wenn für einige Stoffe ein Widerspruch besteht, dass die Einhaltung der AgBB-Anforderungen nicht die Einhaltung der Innenraumrichtwerte der Ad-hog-Arbeitsgruppe IRK/AOLG gewährleistet.

Beispiel: Ausschreibung und Vergabe

Die Einbindung der Bewertung von Umwelt- und Gesundheitsaspekten bei öffentlichen Ausschreibungen ist vergaberechtlich schwierig, da hier in der Regel der Preis entscheidet. Um die Verwendung emissionsarmer Produkte zu fördern, wäre eine Öffnung und Präzisierung der Vergabekriterien in Bezug auf Berücksichtigung von Umwelt- und Gesundheitsaspekten nötig.

Gebäudeerstellung:

Qualifizierung der Beteiligten

Um eine effektive Reduzierung der VOC-Konzentrationen in der Raumluft zu erreichen, muss der gesamte Herstellungs- und Nutzungszyklus eines Gebäudes betrachtet werden. Geeignete Maßnahmen müssen insbesondere in die Planung, Ausschreibung, Ausführung, Abnahme und Nutzung implementiert werden. Alle Beteiligten tragen in hohem Maße Verantwortung für den Erfolg der Maßnahmen. Hierfür ist es notwendig, alle Beteiligten für dieses Thema zu sensibilisieren und gezielt aufzuklären.

Architekten kommt in der Planung, Koordination und Kontrolle eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung gesundheitsverträglicher Bauvorhaben zu. Leider fehlen hierzu geeignete und auf den Arbeitsalltag zugeschnittene Instrumente, um diese Aufgaben zu unterstützen. Die Berücksichtigung der Raumluftqualität erfordert zu häufig noch ein Umdenken und Umlernen von allen Beteiligten.

Auch für den Anwender können neue Baustoffe eine Hürde darstellen, die dazu führen kann, emissionsärmere Produkte aufgrund der fehlenden Erfahrung nicht einzusetzen.

Neben der Eignung des Produktes generell und der Eignung für das konkrete Bauvorhaben stellt der Einbau, also seine Anwendung vor Ort, eine entscheidende Einflussgröße für mögliche VOC-Belastungen dar. Insofern müssen Verarbeiter für einen korrekten Einbau unter Berücksichtigung spezieller Aufbauten, Trocknungszeiten und Belüftungsanforderungen, der Lagerung auf der Baustelle, möglichen Kontaminationsrisiken etc. entsprechend geschult sein. Neben dem Sicherheits- und Gesundheitskoordinator auf der Baustelle wäre da auch ein Raumlufthygienekoordinator wünschenswert.

In der Nutzungsphase steuern der Nutzer selbst und das Gebäudemanagement einen entscheidenden Beitrag zur Raumlufthygiene bei. Neben dem zentralen Thema „Lüftung“ sind die Themen Verwendung von Produkten, insbesondere Reinigungsmittel, sowie Instandhaltungsmaßnahmen jeweils auf ihre Emissionen hin zu betrachtende Vorgänge.

Jede Renovierungsmaßnahme und das Einbringen neuer Produkte wirft die Frage auf, welche möglichen Konsequenzen sich für die Raumluftqualität ergeben können und ob die Raumluftqualitätsziele eingehalten werden.

Wünschenswert wäre eine möglichst frühe Sensibilisierung der Beteiligten zum Beispiel durch Aufklärung von Jugendlichen in der Schule, sowohl theoretisch als auch am praktischen Beispiel in ihrer eigenen Schule.

Die Erhebungen der VOC-Konzentrationen in Innenräumen zeigen deutliche Veränderungen des Stoffspektrums, die auf Stoffbeschränkungen und gesetzliche Regelungen zurückgeführt werden können. Dies trifft zum Beispiel auf aromatische und halogenierte Kohlenwasserstoffe zu. Wie die Erfahrungen aus vielen Bereichen zeigen, können sich „Ersatzstoffe“ ebenfalls als problematisch erweisen. Im Fall der Umstellung von lösungsmittelhaltigen zu wässrigen Systemen kann diese den Ersatz von flüchtigen Lösungsmitteln zu weniger flüchtigen Lösungsvermittlern bedeuten, die aufgrund ihrer geringeren Flüchtigkeit über längere Zeit in Innenräumen nachgewiesen und deren gesundheitliche Wirkungen bedenklich sein können.

Neben einer anzustrebenden Reduktion von bekanntermaßen gesundheitskritischen Stoffen ist eine begleitende Evaluation notwendig, um den Erfolg regulatorischer Maßnahmen zu prüfen und auf neue „Stoffe“ reagieren zu können.

In der Praxis haben sich in den letzten Jahren verschiedene, „individuelle“ bzw. Teilaspekte betreffende Lösungsstrategien etabliert. Hierzu gehören zum Beispiel Bewertungs- und Zertifizierungssysteme für Gebäude, die Begleitung der Auswahl von Bauprodukten durch externe Beratungsunternehmen, die Durchführung von Abnahmemessungen vor der Inbetriebnahme von Gebäuden, der Zugriff auf Produktlisten mit für ein bestimmtes Bauvorhaben geeigneten Produkten.

Vor dem Hintergrund der begrenzten Ressourcen wäre eine bessere Vernetzung und Bündelung von Aktivitäten wünschenswert, ebenso die Evaluation von Lösungsstrategien, die Koordination von Projekten und die Verbesserung der Umsetzung in der Praxis. Hierzu gehören neben der Sammlung von Erkenntnissen über Schadensfälle praxisbezogene Handlungsanleitungen, wie diese zukünftig vermieden werden können.

Die Verbesserung der Raumluftqualität betrifft uns alle. Die meisten Menschen verbringen die überwiegende Zeit ihres Lebens in Innenräumen. Es sind nicht nur technische Lösungen, wie bessere Produkte, Verfahren, Anlagen und Systeme gefragt, sondern auch das Mitdenken und die Unterstützung von allen Beteiligten.

18. Ausblick

Der Bericht liefert eine ausführliche Beschreibung der Datenbasis und statistische Kenndaten für das Vorkommen flüchtiger organischer Verbindungen in Innenräumen.

Aufgrund der vorliegenden Datenbankstruktur und mithilfe der für die Auswertung erstellten Benutzeroberfläche können weitere Auswertungen zukünftig zeitnah und einfach durchgeführt werden. Die erstellte Datenbank liefert umfangreiche Auswertungsmöglichkeiten, die im Rahmen dieses Vorhabens für verschiedene Fragestellungen bereits genutzt wurden. Verknüpfungen der Messergebnisse mit ausgewählten Gliederungsmerkmalen, wie zeitliche Trends, Gebäudealter, Raumnutzungsart, Lüftungstyp, Lüftungsbedingungen wurden im Rahmen des Vorhabens näher betrachtet. Weitergehende statistische Auswertungen wie Korrelationsrechnungen und die Berechnung von Konfidenzintervallen wären für die Auswertung und Nutzung der Daten wünschenswert.

Auf der Grundlage dieser aktuellen und umfangreichen Datenbasis können Bewertungsgrundlagen z. B. für die Aktualisierung und Erweiterung der AGÖF-Orientierungswerte und Vergleichsdaten für die Ableitung von Innenraumrichtwerten zur Verfügung gestellt werden.

Darüber hinaus konnten anhand der Auswertungen einige wichtige Handlungsfelder für die Verbesserung der Raumluftqualität aufgezeigt werden.

Die nun zur Verfügung gestellte Datenbankstruktur mit den weiter erprobten Instrumenten für die Erfassung, den Import und die Auswertung der Daten bietet eine sehr gute Grundlage für die kontinuierliche Erfassung von anlassbezogenen VOC-Messungen in Innenräumen. Durch die in der AGÖF vertretenen Institute könnten pro Jahr etwa 1000 VOC-Datensätze zur Verfügung gestellt werden. Mittels der in der AGÖF regelmäßig durchgeführten Laborvergleichsmessungen kann ein hoher Qualitätsstandard bei der Probenahme und Analytik sicher gestellt werden. Durch eine direkte Eingabe der Zusatzinformationen bei der Begehung in das entsprechende Import-Tool könnte die Vollständigkeit dieser Angaben verbessert werden.

Durch die stetige Erweiterung der analysierbaren Substanzen wird jeweils das aktuell im Innenraum untersuchte Substanzspektrum erfasst.

Weitere Auswertungen aufbauend auf die bisherigen Arbeiten könnten für folgende Bereiche wichtige Informationen für die Bewertung und Vermeidung von Innenraumbelastungen liefern:

1. Erfassung und Auswertung der VOC-Konzentrationen für „typische“ Geruchssituationen.
2. Einfluss der LWR und der Lüftungskonzepte auf das Abklingverhalten in neuen Gebäuden, vergleichende Messungen mit und ohne Betrieb der Lüftungsanlage zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Errichtung.
3. Auswirkung der energetischen Sanierung auf das Vorkommen von SVOC in Innenräumen. Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten vor und nach der Sanierung.
4. Einfluss der Nutzungssituation, Instandhaltung und Pflege auf die VOC-Konzentrationen, Differenzierung primärer baulicher Quellen und nutzungsbezogener Einträge.
5. Datenerhebung für Gesamtsporen und anzüchtbare Sporen in der Raumluft (Schimmelpilze und Bakterien).
6. Erstellung einer Datenbank für staubgebundene Innenraumbelastungen.

19. Zusammenfassung

Das Vorhaben zielte darauf ab, aktuelle Daten aus Innenraumuntersuchungen auf flüchtige organische Verbindungen zu erfassen und auszuwerten. Dabei sollten auch Aspekte der Energieeffizienz und Lüftungsart berücksichtigt werden, um der Frage nachzugehen, ob sich die Raumluftqualität in energieeffizienten Gebäuden von anderen Gebäuden unterscheidet.

Hierzu wurde in einem Teil A die Erfassung der aktuellen VOC- Messdaten und Begleitinformationen aus anlassbezogenen Untersuchungen der AGÖF-Mitgliedsinstitute in einer Datenbank fortgesetzt. Darüber hinaus wurden in einem Teil B des Vorhabens gezielt Messungen in ausgewählten, energetisch optimierten Gebäuden durchgeführt, um weitere Einflussfaktoren differenziert betrachten zu können. Es sollte sich hierbei möglichst auch um Gebäude mit technischen Lüftungssystemen handeln. Der Teil C stellte schließlich die Zusammenführung der Daten des aktuellen Vorhabens (VOC DB II) und dem vorangegangenen Vorhaben (VOC DB I) dar. Mit der Fortschreibung der Datenerhebung auf der Basis der bereits bestehenden VOC-Datenbank erfolgte eine Erweiterung und Aktualisierung der Datenbasis, mit der die Abbildung zeitlicher Trends in Bezug auf die eingesetzten Substanzen sowie deren Konzentrationen von 2002 bis 2012 fortgeführt wurde.

Für die Auswahl der Daten aus überwiegend anlassbezogenen Messungen (Teil A) wurden folgende Vorgaben festgelegt:

- zeitliche Begrenzung, Datum der Probenahme ab 2006, anschließend an das Vorhaben VOC DB I bis Oktober 2012,
- nur aktive Probenahme,
- nur (typische) Aufenthaltsräume,
- Festlegung auf vorgegebene Methoden,
- möglichst umfangreiches VOC-Substanzspektrum, Einzelmesswerte nur für Formaldehyd,
- möglichst viele unterschiedliche Gebäude, pro Gebäude Auswahl repräsentativer Räume pro Etage, Nutzungs- und Ausstattungsart,
- Mehrfachmessungen in einem Raum (Abklingkurven oder Zeitreihen) nur als Wiederholungsmessung.

Für den Teil B des Vorhabens, gezielte Untersuchungen in 50 hinsichtlich des Wärmebedarfs optimierten Gebäuden (Energiestandard mindestens ENEC 2002), waren die AGÖF-Institute zunächst aufgefordert worden, geeignete Objekte vorzuschlagen. Auf der Grundlage der eingegangenen Objektvorschläge wurden schließlich 31 Wohngebäude und 20 Schulen ausgewählt. Es wurde eine möglichst große Diversifizierung in Bezug auf die nachfolgenden Merkmale - bei einem hohen Anteil an Gebäuden mit Lüftungsanlage – angestrebt:

- PLZ-Bereich,
- Art der Lüftung: Fensterlüftung / einfache Lüftungssysteme wie z.B. Abluftanlagen / aufwändige Lüftungssysteme wie z.B. Zu- und Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung,
- Freistehendes Ein- oder Zweifamilienhaus oder Wohnung in einem MFH,
- Neubau oder Modernisierung,
- Bauweise: Massivbau, Stahlskelett oder Holzkonstruktion,
- Energiestandard: ENEC 2002 / ENEC 2007 / Passivhaus.

Die Messungen erfolgten in zwei Klimasituationen. Es war erforderlich, eine ausreichende Zeit nach Sanierung, Renovierung oder Neubau einzuplanen (Mindestzeit ca. 6 Monate nach Fertigstellung). Es wurden Vorgaben zur Standardisierung der Lüftungssituation sowie des Reinigungs- und Nutzungszustands festgelegt. Die Untersuchungen erfolgten jeweils in Hauptaufenthaltsräumen (Schlafzimmer bzw. Klassenraum).

Relevante Änderungen in der Ausstattung des untersuchten Raumes zwischen der ersten und der zweiten Messung wurden ausgeschlossen.

Das Messprogramm beinhaltete neben den Raumlufthuntersuchungen auf flüchtige organische Verbindungen, Aldehyde / Ketone und auf Phosphorsäureester basierende Flammschutzmittel die Bestimmung der Luftwechselrate mittels Tracergasanalyse.

Eine Stoffliste mit Mindeststoffen und Mindestbestimmungsgrenzen wurde vorgegeben.

Der Mindestumfang der zu erfassenden Zusatzangaben variierte. Es wurde ein Teildatensatz mit einem reduzierten Umfang an Zusatzinformationen aufgenommen. Für anlassbezogene Messungen bis 2010 war der Umfang an Pflichtangaben gegenüber dem Probenahmedatum ab 2011 geringer.

Für den Teil B wurde eine umfangreiche Erhebung von Zusatzinformationen, u.a. auch in Bezug auf energetische Merkmale, gefordert.

Die Erfassung der Daten erfolgte durch die beteiligten AGÖF-Institute. Hierfür wurde das für die VOCDB 1.0 entwickelte, auf MS Excel basierende Erfassungs-Tool weiterentwickelt (VOCDB-IT 2.0). Die jedem Institut zur Verfügung gestellte Instanz des Tools bestand aus verschiedenen Tabellenblättern für Instituts-, Methoden-, Qualitätssicherungs-, Zusatzinformations- sowie Messdaten. Des Weiteren war dem Tool eine ausführliche Liste gängiger raumluftrelevanter Substanzen und deren Stoffdaten sowie synonyme Bezeichnungen hinterlegt. Diese konnte durch die Institute bei Bedarf individuell erweitert werden. Für die Zusammenführung der Daten in der MS Access basierten Datenbank (VOCDB 2.0) wurde das Importmodul der Version 1 übernommen und an die neue Umgebung sowie die neue Datenstruktur angepasst. Die Funktionalität wurde jedoch insbesondere hinsichtlich Bedienungsfreundlichkeit und Datenvalidierung erheblich erweitert. Bevor die Daten in den finalen Datenpool übernommen wurden, erfolgten umfangreiche Validierungen und Konsistenzprüfungen. Für die Verwendung der Datenbank wurde ein MS Access basiertes Userinterface (VOCDB-UI 2.0) entwickelt.

Die Erfassung der zusätzlichen Angaben zu den Objekten in Teil B erfolgte nur mittels Excel-Tabellen.

Insgesamt wurden 4846 Datensätze in die Datenbank eingepflegt. 1425 Datensätze entsprachen in Bezug auf den Umfang an Zusatzinformationen den Pflichtangaben für Datensätze mit dem Probenahmedatum ab 2011, davon waren 100 Datensätze für den Projektteil B erhoben worden, 615 Datensätze lagen mit reduzierten Pflichtangaben vor und die restlichen 2806 Datensätze entsprachen dem Pflichtumfang für Probenahmen bis 2010.

Es beteiligten sich 16 AGÖF-Institute an der Bereitstellung von Daten. Die Anzahl der gelieferten Datensätze pro Institut variierte von 2 bis 2006 Datensätzen. Entsprechend der räumlichen Lage der Institute ergaben sich Schwerpunkte in den Postleitzahlbereichen 2, 5, 8, 1 und 3. Die Anlässe Gerüche, Gesundheitsbeschwerden und Expositionsverdacht wurden etwa gleich häufig in ca. 1700 Fällen genannt. 1021 Innenraumuntersuchungen wurden aufgrund einer Abnahme durchgeführt.

Die Bauweise „Massivbau Mauerwerk“ kam mit 1742 Nennungen am häufigsten vor. Es folgten „Stahlbetonbau“ mit 650, „Stahlleichtbau“ mit 616, „Holztafelbau“ mit 238 und „Fertigteilebau“ mit 126 Nennungen.

Auf der Grundlage der energetischen Klassifizierung von Wohngebäuden (IWU 2010) wurden zehn Baualtersklassen differenziert. Die Verteilung der erfassten Gebäude über die Baualtersklassen war relativ homogen. Am häufigsten wurden die Baualtersklassen ab 2007 (17 %), 1969-1978 (15 %), 1995-2001 (11 %) und 1919-1948 (10 %) genannt.

Bei 333 Datensätzen wurde die Durchführung einer Modernisierung genannt, im Gegensatz zu 1633 Gebäuden ohne Modernisierung. Bei 2880 Datensätzen lagen keine Angaben vor.

Die Hauptnutzungsarten der Gebäude teilten sich zu je ca. 1/3 in Wohngebäude, pädagogische Einrichtungen und gewerblich genutzte Gebäude auf. Der dominierende Nutzungstyp war Büro/Verwaltung mit 1421 Nennungen, gefolgt von Schulen und Bildungsbauten mit 909 Nennungen, 1-2 Familienhäuser mit 813 Nennungen und Mehrfamilienhäuser mit 612 Nennungen. Die Anzahl anderer Nutzungstypen war gering.

Die Geschosshöhe der untersuchten Gebäude variierte. Die maximale Geschosshöhe lag bei 17 Geschossen. Am häufigsten waren Gebäude mit zwei bis drei Geschossen vertreten.

Die insgesamt 4846 Datensätze waren 4428 Räumen zuzuordnen, da 280 Räume unterschiedlich häufig mehrfach untersucht wurden.

Bei der Raumnutzung dominierten Büroräume mit 1781 Nennungen, gefolgt von Wohnräumen mit 1423 Nennungen. Neben einer geringeren Anzahl an weiteren Raumarten wurden 547 Klassenzimmer und 221 Gruppenräume untersucht.

Von den 4428 differenzierten Räumen waren 96 Räume klimatisiert und 174 Räume mit einer technischen Lüftung ausgestattet. 3520 Räume verfügten über manuelle Lüftung.

Zu den weiteren Ausstattungsmerkmalen, die ab 2011 genannt wurden, gehörten Angaben über Bodenbelag, Wände, Decke und Renovierung. Bei den Bodenbelägen dominierten die Nennungen Kunststoffbodenbelag (893) und Teppichboden, verklebt (806); bei den Wänden Putz/Farbe (1247) und Tapeten aus Papier/Raufaser (840); für die Decken wurde ebenfalls am häufigsten Putz/Farbe (902) neben Akustikdeckenplatten (800) genannt. Angaben zu Renovierungsmaßnahmen wurden zu 2408 Räumen gemacht. Die meisten Renovierungen lagen länger als ein Jahr zurück.

Die Messungen erfolgten überwiegend als Statusmessung. In etwa 93 % der Fälle war der zu untersuchende Raum mindestens 8 Stunden ungelüftet. Die Raumtemperatur während der Probenahme lag im Mittel bei $21,99 \text{ °C} \pm 2,56 \text{ °C}$, die Luftfeuchtigkeit betrug durchschnittlich $48,16 \% \pm 10,48 \% \text{ rel. Feuchte}$.

Es wurden weitere Angaben zur Raumsituation erfasst. In den dokumentierten Fällen handelte es sich überwiegend um Nichtraucherzimmer, ohne Baufeuchte oder Schimmelbefall.

Die Räume waren in der Regel möbliert. Weiterhin wurden Angaben zum Geruch gemacht, davon in 662 Fällen mit Angabe der Geruchsintensität unter Bezugnahme auf den AGÖF-Geruchsleitfaden.

Von den 517 insgesamt untersuchten Einzelstoffen wurden 109 Stoffe nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt. In der Gruppe der halogenierten Kohlenwasserstoffe waren die meisten Stoffe mit Messwerten ausschließlich unterhalb der Bestimmungsgrenze vertreten.

Bei 77 Stoffen lag die Anzahl der Messwerte unter 20. Von den insgesamt 656.605 in der Datenbank erfassten Messwerte (inkl. Summenwerte) waren 447.618 Messwerte (68,2 %) unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Für die Probenahme und Analytik wurden verschiedene, in der VOC-Analytik übliche Verfahren eingesetzt. Je nach Analyseverfahren wurden die Sorbenzien Tenax, Aktivkohle, DNPH oder Wasser eingesetzt. Bei den Untersuchungsmethoden dominierte das Thermodesorptionsverfahren mit GC/MS. Der Anteil der Thermodesorption stieg über den Beobachtungszeitraum an.

Innerhalb der Projektlaufzeit nahmen die beteiligten Institute an den Laborvergleichsmessungen der AGÖF teil.

Für die Beschreibung des Vorkommens der untersuchten flüchtigen organischen Verbindungen in Innenräumen wurden die folgenden statistischen Kenndaten ermittelt: die Größe der Stichprobe (n), die Anzahl der Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze (sowie % unterhalb der BG), die Maximalwerte und die Perzentilwerte 10, 25, 50, 75, 90, 95, 98.

Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden bei der Berechnung der statistischen Kennwerte mit dem 0,5 fachen Wert der jeweiligen BG berücksichtigt. Die Höhe der Bestimmungsgrenze wurde bei allen Messwerten erfasst. Es wurden ebenfalls die statistischen Kenndaten für die Beschreibung der Verteilung der Bestimmungsgrenzen erstellt.

Von den erfassten Summenwerten wurden nur die TVOC-Werte aus der Summe der identifizierten und nicht identifizierten Verbindungen innerhalb des TVOC und der TVOC über Toluol ausgewertet.

Auswertungen erfolgten für den Gesamtdatensatz (Teil A) und den Teildatensatz (Teil B) sowie für die nachfolgend genannten Teilgruppen:

- Wohnräume, Büroräume, Klassenräume,
- „gelüftet“, „ungelüftet“ (bezogen auf die Lüftungsbedingungen während der Probenahme),
- Fensterlüftung, technische Lüftung (bezogen auf die Ausstattung des Raumes).

Weitere Auswertungen erfolgten für ausgewählte Stoffe in Bezug auf den Zeitpunkt der Probenahme nach einer Renovierung, die Baualterklasse und die Energieklasse. „Energieklassen“ wurden anhand der Baualterklasse, des Lüftungstyps sowie unter Berücksichtigung weiterer Angaben zur Energieeffizienz oder Modernisierung gebildet.

Für den Projektteil B, ausgewählte Messungen in energieeffizienten Gebäuden, war die Auswahl auf die Gebäudenutzungstypen Wohngebäude und Schule beschränkt. Erfasst und gemessen wurden 51 Gebäude, die nachweislich entsprechend einem Energiestandard von 2002 bzw. später errichtet oder saniert wurden. Die Gebäude sollten einen möglichst einheitlichen Zeitpunkt nach der Sanierung, Renovierung oder Neubau aufweisen und mindestens 6 Monate in Betrieb gewesen sein. Es wurden gezielt möglichst viele Gebäude mit Lüftungsanlagen und mit möglichst hohem Energiestandard (z.B. NEH, PH) für die Untersuchungen ausgewählt.

Anhand der vorliegenden Begleitinformationen wurden die Messungen für den Teil B als eigene Teilgruppe ebenfalls ausführlich beschrieben. Die Untersuchungen wurden in 20 Schulen und 31 Wohngebäuden durchgeführt. Die Auswahl der Schulen ergab ein breites Spektrum an verschiedenen Schultypen. Die Wohngebäude unterteilten sich in 20 1-2-Familienhäuser und 11 Mehrfamilienhäuser. Massivbauweise (Mauerwerk und Stahlbeton) dominierte. Drei Schulen und 14 Wohngebäude entsprachen Holztafelbau. Insgesamt 30

Gebäude waren ab 2002 errichtet worden. Bei 20 Gebäuden war eine energetische Modernisierung durchgeführt worden. Der Energiestandard entsprach bei sechs Gebäuden Passivhausstandard, 15 Gebäude waren als Energieeffizienzhaus ausgewiesen. Drei Gebäude wurden besonders schadstoffarm gebaut. In den Schlafräumen dominierte Vollholz als Bodenbelag, während die Klassenräume überwiegend mit Kunststoff- oder Linoleumböden ausgestattet waren. Die häufigste Wandbekleidung war Putz/Farbe. Das galt auch für die Decken der Wohnräume, wohingegen die Klassenräume mit Akustikdecken ausgestattet waren. In 30 Gebäuden waren keine Renovierungsmaßnahmen und in 20 Gebäuden vor mehr als 6 Monaten durchgeführt worden. In einem Objekt lag die Renovierung nur 3 bis 6 Monate zurück. Von den Wohnräumen verfügten 20 Räume über eine technische Lüftung (Zu-/Abluftanlage). In 18 Fällen handelte es sich bei dem untersuchten Schlafzimmer um einen Zuluftaum, in zwei Fällen um Abluftäume. Von den 20 Schulen besaßen sieben Schulen technische Lüftungssysteme.

Die Probenahme erfolgte in 55 Fällen - bei Fensterlüftung - in mindestens 8 Stunden ungelüfteten Räumen und in 45 Fällen - bei Vorhandensein einer Lüftungsanlage - bei Betrieb der Lüftungsanlage.

Die Luftwechselraten unterschieden sich zwischen Schulen und Wohnungen im Mittel kaum. Die Werte lagen zwischen 0,02/h und 2,56/h mit einem Mittelwert von 0,39/h.

Es bestand ein signifikanter Unterschied der Luftwechselraten zwischen Räumen mit Fensterlüftung (LWR=0,130/h) und technischen Lüftungsanlagen (LWR=0,629/h).

In der Gesamtauswertung (Teil A) lagen ca. 68 % der Messwerte unterhalb der BG. Nur wenige Substanzen wurden häufig oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Zu den Stoffen, die häufig untersucht wurden und in mehr als 90 % der Untersuchungen oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen, gehörten Formaldehyd, n-Hexanal, Toluol und m,p-Xylol. Nur etwa 80 der 440 untersuchten Einzelstoffe mit mehr als 20 Messwerten wurden bei mehr als 50 % der Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.

In fast allen Stoffgruppen traten einzelne sehr hohe Stoffkonzentrationen im Milligrammbe- reich auf. Das zu betrachtende Substanzspektrum wird zunehmend umfangreicher und auch Stoffe, die selten in Innenräume nachgewiesen werden, können in Einzelfällen in sehr hohen Konzentrationen auftreten. Eine Begrenzung des zu untersuchenden Stoffumfangs ist nicht empfehlenswert, vielmehr sollten über das identifizierbare Stoffspektrum hinaus auch weitere, zum Teil unbekannt Substanzen erfasst werden.

Vergleicht man die aktuellen statistischen Kennwerte mit den Daten des vorangegangenen Vorhabens, so war für die überwiegende Zahl der Stoffe eine Abnahme der Raumluf- tkonzentrationen festzustellen. Für Formaldehyd sowie die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen gemessen als TVOC (gemäß Handreichung der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG, UBA 2007) war kein Rückgang der Werte festzustellen.

Innerhalb der anlassbezogenen Messungen ergab die Gruppierung der Raumarten Wohn- raum, Büroraum und Klassenraum für viele innenraumrelevante Stoffe höhere Perzentile in der Gruppe Klassenraum. Die Konzentrationen waren in den untersuchten Büroräumen am niedrigsten. Lediglich für Cyclohexan wies die Teilgruppe Büroräume höhere Konzentra- tionen auf. Höhere Konzentrationen lagen für Limonen, α -Pinen und Hexanal in der Teilgruppe Wohnräume vor.

Bei den Messungen in gelüfteten Räumen – Probenahme bei eingeschalteter Lüftungsan- lage oder nach Nutzungssimulation – wurden überwiegend niedrigere VOC-Konzentrationen festgestellt. Etwas niedrigere Konzentrationen konnten auch im Vergleich der Räume mit

Lüftungstechnik und manueller Lüftung in den Räumen mit technischer Lüftung gemessen werden. Wobei auch in Räumen mit technischer Lüftung für einzelne Stoffe höhere Perzentilwerte als in der Gruppe mit manueller Lüftung auftraten.

Für einige Stoffe wie z.B. m,p-Xylol, 2,2,4,6,6-Pentamethylheptan und 2-Butanon ergab die Auswertung der Raumlufkonzentrationen in Abhängigkeit von der Zeit nach Renovierung eine typische Abklingcharakteristik. Dagegen zeigte sich bei anderen Stoffen wie z.B. Limonen und Formaldehyd kein Einfluss der Zeit nach Renovierung.

Eine Differenzierung der anlassbezogenen Messungen auf der Grundlage der Baualterklassen ergab für einige Stoffe deutliche Unterschiede.

Die Styrolkonzentrationen waren in den Baualterklassen „ab 2002“ höher. Für Hexanal, α -Pinen und den TVOC wiesen neue Gebäude der Baualterklasse „ab 2007“ die höchsten Perzentilwerte auf. Dagegen waren für Naphthalin die Perzentile P90 und P95 in den Baualterklassen „vor 1918“ und „1919-1948“ am höchsten. Für Formaldehyd wurden die niedrigsten Perzentile in der Gruppe „2002 bis 2006“ und die höchsten Konzentrationen in den Baualtergruppen „1969 bis 1979“ und „1959 bis 1968“ gemessen.

Eine Gruppierung von Energieklassen unter Einbeziehung der Merkmale Baualterklasse, Modernisierung, Vorhandensein technischer Lüftung und Passivhausstandard wurden für die Parameter TVOC und Formaldehyd erstellt.

Die Auswertung ergab für den TVOC höhere Perzentilwerte in den Teilgruppen „modernisierte Gebäude mit Fensterlüftung“ und „Gebäude ab 2007“. Die TVOC-Werte waren in den Teilgruppen mit technischer Lüftung niedriger.

Für Formaldehyd traten die höchsten Perzentilwerte in der Teilgruppe „vor 2007 keine Modernisierung“ auf. Die Unterschiede zwischen modernisierten und nicht modernisierten Gebäuden waren hier geringer. Vergleichsweise hohe Konzentration wurden auch in der Teilgruppe neue Gebäuden „ab 2007“ (alle Gebäude, Fensterlüftung) gemessen. In den Teilgruppen mit technischer Lüftung wurden die niedrigsten Konzentrationen gemessen.

Für den Teil B - Untersuchungen in ausgewählten, energieeffizienten Gebäuden - wurden statistische Auswertungen für verschiedene Teilgruppen durchgeführt. Da hier neben chemischen Raumlufuntersuchungen auch die Bestimmung der Luftwechselrate durchgeführt worden war und ein hoher Anteil an Gebäuden mit technischer Lüftung vorlag, galt den Einflussfaktoren Luftwechselrate und Art der Lüftung auf die Konzentrationen der untersuchten VOC ein besonderes Interesse.

Auf der Grundlage einer kanonischen Korrespondenzanalyse unter Einbeziehung von 43 Stoffen und Gebäudemerkmalen erfolgte für die Teilgruppe B eine Gewichtung möglicher Einflussfaktoren. Am stärksten unterschied sich die Zusammensetzung der Stoffe zwischen Schulen und Wohngebäuden, gefolgt vom Einfluss der zeitlichen Komponente (erste und zweite Messung). Die Art der Lüftung hatte nur einen untergeordneten Effekt auf die Zusammensetzung der Stoffe in der Luft.

Gegenüber der Gesamtauswertung der anlassbezogenen Messungen waren die Stoffkonzentrationen in der Teilgruppe B überwiegend niedriger. Weiterhin waren - wie dies bereits bei den Vergleichen der Auswertung von anlassbezogenen Messdaten mit repräsentativen Untersuchungen festgestellt wurde, die Spannweiten der oberen Perzentile deutlich niedriger.

Stoffspezifisch wurden auch hier Unterschiede ja nach Raumnutzung festgestellt. So waren in den Klassenräumen beispielsweise die Konzentrationen für Formaldehyd und Benzothiazol höher als in den Wohnräumen. Ethylacetat und Limonen wurden in den Wohnräumen in höheren Konzentrationen nachgewiesen.

Es wurden unterschiedliche Konzentrationsverteilungen für die Teilgruppen erste und zweite Messung sowie Winter und Sommer festgestellt. Die erste Messung war in Mehrzahl der Fälle im Sommer durchgeführt worden. Die Konzentration für einige der untersuchten Terpene (mit Ausnahme von Limonen), Aldehyde, insbesondere Formaldehyd, aber auch höhere Aldehyde wie Hexanal sowie Ketone, Ester und Alkansäuren waren im Sommer höher. Auch die TVOC-Werte waren in dieser Gruppe deutlich höher.

Die Unterschiede zwischen den Stoffkonzentrationen in neuen Gebäuden und energetisch modernisierten Gebäuden waren vergleichsweise gering. Die Objekte mit technischer Lüftung wiesen niedrigere TVOC- und Formaldehydkonzentrationen auf.

In den Räumen mit Fensterlüftung waren die LWR deutlich geringer als in den Räumen, die technisch belüftet wurden. Sie lagen in den Räumen ohne Lüftungstechnik bei durchschnittlich 0,13 /h.

Die Bestimmung von VOC-Konzentrationen und Luftwechselraten ergab, dass bei ähnlich niedrigen Luftwechselraten häufig höhere Stoffkonzentrationen bzw. eine höhere Streuung der Stoffkonzentrationen in Räumen mit Fensterlüftung im Vergleich zu Räumen mit technischer Lüftung vorlagen.

Für einige Einzelstoffe wurde der Verlauf der Perzentilwerte für die anlassbezogenen Messungen über den Beobachtungszeitraum von 2002 bis 2012 verfolgt. Für die Aromaten Toluol und Benzol setzte sich der abnehmende Trend, wenn auch schwächer, fort. Dagegen war kein Rückgang bei den oberen Perzentilwerten für Styrol zu erkennen. Für Undekan war ein Konzentrationsrückgang über die Beobachtungsjahre erkennbar.

Der Trend für das Vorkommen von halogenierten Kohlenwasserstoffen war deutlich rückläufig. So lagen beispielsweise für 1,1,1-Trichlorethan ab 2007 alle Perzentilwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze. Von diesem allgemeinen Trend abweichend wurden für Dichlorethan noch erhöhte Konzentrationen in Innenräume vorgefunden.

Für n-Butanol, α -Pinen und n-Hexanal konnte ebenfalls eher ein rückläufiger Trend festgestellt werden. Für Formaldehyd ergaben sich gleichbleibend hohe Perzentilwerte. Für Benzaldehyd war insbesondere bei den oberen Perzentilen ein steigender Trend festzustellen. Für den TVOC, der erst ab 2006 erhoben wurde, war bei den oberen Perzentilen ein ansteigender Trend zu erkennen.

Allgemein waren die Schwankungen für die oberen Perzentile (P90, P95) häufig größer.

Der Vergleich der Messdaten mit toxikologisch abgeleiteten Richtwerten ergab die höchste Anzahl an Überschreitungen eines Handlungswertes (entsprechend Richtwert II) für Formaldehyd. Insgesamt lagen 148 RW-II-Überschreitungen vor. In 87 Fällen (4 % der anlassbezogenen Untersuchungen) wurde der Richtwert für Formaldehyd überschritten, in 40 Fällen der zum Zeitpunkt der Messungen gültige Richtwert II für Naphthalin. Richtwert-I-Überschreitungen wurden in 737 Fällen vorgefunden, am häufigsten für Naphthalin und Benzaldehyd.

Es wurden keine Richtwertüberschreitungen für das Flammschutzmittel Tris(2-chlorisopropyl)phosphat festgestellt.

Statistische Auswertungen anlassbezogener Innenraumuntersuchungen liefern wichtige Erkenntnisse über die Zusammensetzung des Stoffspektrums und die Höhe der Belastungen in Innenräumen. Für dieses Vorhaben wurden Untersuchungsergebnisse aus anlassbezogenen Innenraumuntersuchungen sowie gezielt vorgegebenen Untersuchungen für ein umfangreiches Substanzspektrum zeitnah zur Verfügung gestellt und ausgewertet. Durch die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Vorgehensweise wurde ein hohes Qualitätsniveau der Daten sichergestellt.

Auch wenn für viele Einzelstoffe ein rückläufiger Trend der VOC-Konzentrationen in Innenräumen festzustellen ist, bleibt die VOC-Summenbelastung in Innenräumen trotz der bereits ergriffenen Maßnahmen zur Minimierung der Produktemissionen weiterhin hoch. In Einzelfällen traten sehr hohe Belastungen auf.

Im Zusammenhang mit den Bestrebungen, Energieeinsparungen weiter voranzutreiben, stellt daher die Optimierung der Raumluftqualität und Energieeffizienz weiterhin eine Herausforderung dar. Auch wenn anhand von vielen Einzelbeispielen gezeigt werden konnte, dass es sich hierbei keineswegs um gegensätzliche Ziele handelt, fehlt in der Baupraxis vielfach ein tieferes Verständnis für das Zusammenwirken der wesentlichen und grundsätzlichen Einflussfaktoren.

Auf der Grundlage der Ergebnisse wurden Lösungswege auf verschiedenen Handlungsebenen zur Reduktion von VOC-Belastungen in Innenräumen vorgestellt.

Die Datenbasis bietet umfangreiche Auswertungsmöglichkeiten, die im Rahmen dieses Vorhabens nur ansatzweise genutzt wurden. Weitere, stärker differenzierende Auswertungen wären für die Nutzung der Ergebnisse in der Praxis wünschenswert.

Für die Anwendung statistischer Bewertungsgrundlagen müssen Häufigkeitsverteilungen ständig fortgeschrieben und die Analytik an Neuentwicklungen angepasst werden. Die mit diesem Vorhaben gemachten Erfahrungen und die entwickelte Struktur für die Datenaufnahme ermöglichen eine Fortsetzung des Vorhabens und die regelmäßige Aktualisierung der Daten.

20. Summary

It was the goal of this project to collect and analyze current data from indoor air assessments of volatile organic compounds. Aspects of energy efficiency and ventilation type were also considered to examine the question of whether the indoor air quality in energy-efficient buildings differs from the indoor air quality in other buildings.

For this purpose, in a Part A, the data entry of current VOC measurement datasets and supplementary information from the event-specific measurements of the AGOEF member institutes into a database was continued. In addition, in a Part B of the project, measurements were also carried out in buildings specifically selected for their energy-efficient performance to take a detailed look at additional influencing factors. The selected buildings should also preferably have a mechanical ventilation system. Part C presents the consolidation of the data of the current project (VOC, DB II) and the past project (VOC DB I). The continued collection of new data based on the existing VOC database resulted in an expansion and update of the data pool. Thus the documentation of time trends regarding

substances in use and their concentration levels from 2002 through 2012 was also continued.

The selection criteria for the mostly event-specific measurements (Part A) were set as follows:

- Time limit, sampling date from 2006 (following the Project VOC DB I) to October 2012;
- Active sampling only;
- (Typical) spaces with a high level of use only;
- Predetermined methods;
- Range of VOC substances as broad as possible, individual measurements for formaldehyde only;
- As many different buildings as possible, whereby representative spaces per floor, usage type, and furnishing type are selected in a given building;
- Multiple measurements in the same space (decay curves or time series) as repeated measurements only.

For Part B of the project, the goal was to assess 50 buildings that had been optimized for their heat requirement (compliant with at least the German energy standard ENEC 2002). The AGOEF institutes were asked to make suggestions for suitable buildings. Based on their suggestions, 31 residential buildings and 20 schools were selected. The goal was to capture as many diverse situations as possible—with an emphasis on buildings with ventilation systems—based on the following characteristics:

- Postal codes;
- Ventilation type: Window ventilation, simple ventilation systems such as exhaust fans, sophisticated ventilations systems such as HVAC systems with heat recovery;
- Single-family or two-family detached home or apartment in a multifamily apartment building;
- New construction or upgrade;
- Building type: Masonry, steel frame, or wood construction;
- German energy standard: ENEC 2002 / ENEC 2007 / Passive House.

Measurements were taken for two different climate situations. It was necessary to allow for sufficient time after a remediation, renovation, or new construction (minimum period ca. 6 months after completion). For standardizing the ventilation situations as well as the state of cleaning and use, terms of reference were set out. Assessments were carried out in rooms where occupants spend considerable time such as in bedrooms or classrooms.

Relevant changes in the furnishing of an assessed room between the first and the second measurement were ruled out.

In addition to the indoor air assessment of volatile organic compounds, aldehydes/ketones, and organophosphate flame retardants, the measurement protocol also included the measurement of the air exchange rate using tracer gas analysis.

A minimum list of substances with their minimum limits of quantification were specified.

The minimum requirements for the supplementary information varied. A subgroup of datasets with less supplementary information were included. For event-specific measurements, the supplementary information required until 2010 was less detailed compared to the supplementary information required from 2011.

For Part B, the supplementary information required—also with regard to energy parameters—was extensive.

Participating AGOEF institutes collected the data. For this purpose, the MS Excel-based data gathering tool, which had been developed for VOC DB 1.0, was developed further (VOCDB-IT 2.0). Every participating institute received a copy of the Tool, including various table sheets for entering data concerning institutes, methods, quality assurance, supplementary information, and measurements. Furthermore, the Tool also included an extensive list of common indoor air-relevant substances as well as their characteristics and synonyms. Any institute could add to this list as required. For the consolidation of the data in the MS Access database (VOCDB 2.0), the import module of version 1 was adapted to the new interface as well as the new data structure. The functionality, however, was considerably enhanced, especially with regard to the ease of operation and data validation. Prior to being submitted to the final data pool, extensive validation protocols and consistency checks were applied. For the use of the database, an MS Access user interface was developed (VOCDB-UI 2.0).

The supplementary information of the buildings assessed in Part B was only entered into MS Excel tables.

A total of 4846 datasets were entered into the database. As to the supplementary information, 1425 datasets met the minimum sampling information required from 2011: 100 of these datasets had been collected for Part B of the project, 615 of these datasets contained less than the required sampling information, and the remaining 2806 datasets met the minimum sampling information required until 2010.

Sixteen AGOEF institutes participated in providing data. The number of datasets provided by any given institute ranged from 2 to 2006 datasets. Due to the location of the institutes, the postal code areas 2, 5, 8, 1, and 3 were the most prevalent. In ca. 1700 of the entries, odors, health complaints, and suspicions of exposure were mentioned as the reason with similar frequency. 1021 indoor air assessments were carried out because of an acceptance inspection.

The building type "masonry construction" was the most prevalent with 1742 entries. This was followed by "reinforced concrete construction" with 650 entries, "lightweight steel construction" with 616 entries, "wood panel construction" with 238 entries, and "prefabricated house construction" with 126 entries.

Based on the energy efficiency classification of residential buildings (IWU 2010), 10 categories of building age were differentiated. The distribution of the assessed buildings across the building age categories was relatively homogeneous. The following categories of building age from 2007 (17%), 1969-1978 (15%), 1995-2001 (11%), and 1919-1948 (10%) were mentioned most frequently.

In contrast to 1633 buildings without an upgrade, 333 of the datasets mentioned that an upgrade had been carried out. 2880 of the datasets did not provide any information.

The main use of the buildings was evenly split between the three types: residential buildings, educational facilities, and commercial buildings. The predominant type of building use was office/administration with 1421 entries followed by schools and educational buildings with 909 entries, single-family and two-family detached homes with 831 entries, and multifamily buildings with 612 entries. The number of entries with other types of building use was small.

The number of floors for the assessed buildings varied. The maximum number of floors was 17. Buildings with two to three floors were most prevalent.

The 4846 datasets could be associated with 4428 spaces because 280 of the spaces had been tested multiple times more or less frequently.

Space use was dominated by office spaces with 1781 entries followed by residential spaces with 1423 entries. Beside a small number of other space uses, 547 classrooms and 221 breakout rooms were assessed.

Of the 4428 spaces 96 spaces were air-conditioned and 174 spaces were equipped with mechanical ventilation. 3520 spaces had manual ventilation.

From 2011, additional details regarding furnishing characteristics were included such as floor covering, walls, ceiling, and renovation. The following entries were predominant for floor coverings: synthetic floor covering (893) and glued-down carpeting (806); for walls: plaster/paint (1247) and wallpaper made of paper/wood chip (840); for ceilings: plaster/paint (902) was also the most predominant choice beside acoustical ceiling panels (800). 2408 of the entries also contained information regarding renovation measures. Most of the renovations had occurred at least one year prior to the assessment.

The measurements were mainly measurements of current conditions. In about 93% of the cases, the space to be assessed had not been ventilated for at least 8 hours. During sampling, the average indoor air temperature was $21.99^{\circ}\text{C} \pm 2.56^{\circ}\text{C}$, the average relative indoor air humidity $48.16\% \pm 10.48\%$.

Additional information regarding the space was also documented. In those cases with additional documentation, spaces were mostly nonsmoking spaces without building moisture or mold infestation.

The assessed spaces were usually furnished. Additional information regarding odors was also provided. In 662 cases, the information provided regarding odor intensity levels referenced the AGOEF guideline on odors.

Of the 517 individual substances that were assessed a total of 109 substances were not detected above the limit of quantification. In the group of halogenated hydrocarbons, the measurement values of most substances were below the limit of quantification.

For 77 substances, the number of measurement values was below 20. Of the 656,605 measurement values (including sum totals) entered into the database, 447,618 measurement values were below the limit of quantification (68.2%).

For sampling and analysis, different but common VOC analysis methods were used. Depending on the analysis method, the sorbents Tenax, activated carbon, DNPH, or water were used. Thermal desorption with gas chromatography (GC) / mass spectrometry (MS) was the predominant analysis method. The use of thermal desorption increased during the observation period.

During the project duration, the participating institutes also participated in the AGOEF laboratory round robin testing.

To describe the presence of the assessed volatile organic compounds in indoor spaces, the following statistical values were determined: size of the sample (n), number of measurement values above the limit of quantitation (as well as % below the limit of quantification), maximum value, and the percentile values 10, 25, 50, 75, 90, 95, and 98.

For the calculation of statistically derived parameters, measurement values below the limit of quantification were considered with the imputed one-half of the corresponding limit of quantification. The value of the limit of quantification was determined for all measurement values. The statistical parameters for the description of the distribution of the limits of quantification were also determined.

Of the captured sum totals only the TVOC values of the identified compounds and the unidentified compounds within the TVOC and the TVOC quantified as toluene were analyzed.

The total data pool (Part A) and the sub data pool (Part B) were analyzed, as well as the following subgroups:

- Residential spaces, office spaces, classrooms;
- "Ventilated," "unventilated" (with reference to the ventilation conditions during sampling)
- Window ventilation, mechanical ventilation (with reference to the installations in a given space)

Additional analyses were carried out for selected substances with reference to the time of sampling after a renovation, building age category, and energy efficiency category. "Energy efficiency categories" were created based on building age category, ventilation type as well as other relevant information concerning energy efficiency or building upgrades.

For Part B of the project, the selected measurements of energy-efficient buildings were limited to two types of building use: residential buildings and schools. Fifty-one buildings were assessed, all of which had been built or reconstructed in compliance with the German energy standard from 2002 or later according to verifiable records. As to the sampling date, the buildings were selected to share a similar time line regarding any remediation, renovation, or new construction and to be in operation for at least 6 months. For the assessment, buildings with ventilation systems and those with a high level of energy efficiency performance (e.g. low-energy house, Passive House) were chosen preferably.

Based on the available supplementary information, the measurements for Part B were also described in detail as an individual subgroup. The assessments were carried out in 20 schools and 31 residential buildings. Among the 20 schools, many different types of school buildings were selected. The residential buildings featured 20 single-family and two-family homes and 11 multifamily buildings. Masonry construction (masonry and reinforced concrete) were predominant. Three schools and fourteen residential buildings were built as a wood panel construction. A total of 30 buildings had been built after 2002. Twenty buildings were reconstructed for better energy performance. The energy performance of 6 buildings met the Passive House standard and 15 buildings were designated as an energy-efficient house. Three buildings were built with very low-toxin materials. In bedrooms, solid wood flooring was the predominant floor covering, while classrooms featured mainly vinyl or linoleum floor coverings. The most common wall surface treatment was plaster/paint. This also applied to the ceilings of residential buildings, whereas classrooms were fitted with acoustical ceiling panels. In 30 buildings, no renovations had been carried out, and in 20 buildings, none had been carried out longer than 6 months ago. In one building, a renovation had been carried out only 3 to 6 months prior to sampling. Among the residential spaces, 20 spaces had mechanical ventilation (supply air units / exhaust air units). In 18 cases the assessed bedroom was a space with a supply air unit and in two cases with an exhaust air unit. Out of the 20 schools, 7 schools had mechanical ventilation systems.

In 55 cases, air sampling took place in spaces that had not been ventilated for at least 8 hours (and otherwise use window ventilation), and in 45 cases, in spaces with a ventilation system that was in operation.

On average, the air exchange rates between schools and residential buildings did not vary greatly. The rates were between 0.02/h and 2.56/h with an average of 0.39/h.

There was a significant difference between the air changes per hour in spaces with window ventilation (ACH=0.130/h) and mechanical ventilation systems (ACH=0.629/h).

In the overall assessment (Part A), ca. 68% of the measurement values were below the limit of quantification. Only a few substances were frequently detected above the limit of quantification. The substances that were frequently sampled and were detected above the

limit of quantification in more than 90% of the cases include formaldehyde, n-hexanal, toluene, and m,p-xylol. Only about 80 of the 440 assessed individual substances were detected above the limit of quantification with more than 20 measurement values in more than 50% of the measurements.

In almost all substance groups, individual substances showed very high concentration levels in the milligram range. The range of substances to be assessed is increasing and even substances that are rarely detected in indoor spaces can be present at very high concentration levels. It is not recommended to limit the range of substances to be assessed; instead, the range of identifiable substances should be extended to also include additional, largely unknown substances.

When comparing the current statistically derived parameters with the data from the previous project, for the majority of substances, a decrease in indoor air concentration levels could be observed. For formaldehyde as well as the sum total of volatile organic compounds measured as TVOC (according to the guideline of the Ad Hoc Working Group IRK/AOLG, UBA 2007), no decrease in concentration levels could be observed.

Within the event-specific measurements, grouping based on the space types residential space, office space, and classroom revealed that the subgroup classroom showed higher percentile values for many indoor air-relevant substances. In the assessed office spaces, the concentration levels were the lowest. Only for cyclohexane did the subgroup office spaces show higher concentration levels. In the subgroup residential spaces, higher concentration levels were found for limonene, α -pinene, and hexanal.

Measurements carried out in ventilated spaces—sampling during operation of ventilation system or after usage simulation—revealed in most cases lower VOC concentration levels. In comparison to manual ventilation, the concentration levels in spaces with mechanical ventilation systems were somewhat lower. In spaces with mechanical ventilation systems, however, individual substances could also occur at higher percentile values than in the group with manual ventilation.

For some substances such as m,p-xylol, 2,2,4,6,6-pentamethylheptane und 2-butanone, the analysis of the indoor air concentration levels showed a typical decay characteristic in relation to the time passed after a renovation. In contrast, time passed after a renovation did not show any relation in other substances such as limonene and formaldehyde.

A differentiation of the event-specific measurements based on building age categories revealed a clear difference for some substances.

Styrene concentration levels were higher in the building age categories "from 2002." For hexanal, α -pinene, and TVOC, new buildings of the building age category "from 2007" showed the highest percentile values. By contrast, for naphthalene, the percentiles P90 and P95 in the building age categories "prior to 1918" and "1919-1948" were the highest. For formaldehyde, the lowest percentiles were measured in the group "2002 to 2006" and the highest concentration levels in the building age categories "1969 to 1979" and "1959 to 1968."

For the parameters TVOC and formaldehyde, energy categories were grouped with regard to such characteristics as building age category, upgrading, presence of mechanical ventilation system, and Passive House standard and analyzed.

For TVOC, the analysis revealed higher percentile values in the subgroup "upgraded buildings with window ventilation" and "buildings from 2007." In the subgroup with mechanical ventilation, the TVOC levels were lower.

For formaldehyde, the highest percentile values occurred in the subgroup "prior to 2007 no upgrade." The differences between buildings that had been upgraded and those that had not been upgraded were less pronounced in this case. Relatively high concentration levels were also measured in the subgroup new buildings "from 2007" (all buildings, window ventilation). In the subgroup of buildings with mechanical ventilation systems, the lowest concentration levels were measured.

For Part B—assessments in selected energy-efficient buildings—statistical assessments were carried out for various subgroups. Since not only indoor air assessments with regard to chemical compounds but also the air exchange rate had been carried out (and a high percentage of the buildings had a mechanical ventilation system), the air exchange rate and ventilation type and their impact on the concentration levels of the assessed VOCs received special attention.

Based on a canonical correspondence analysis including 43 substances and building characteristics, the cases of subgroup B were weighted for possible influencing factors. The greatest difference in the composition of substances was observed between schools and residential buildings followed by the time of sampling (first and second measurement). The ventilation type only played a subordinate role in the composition of the substances in indoor air.

In comparison to the overall assessment of the event-specific measurements, the substance concentration levels in the subgroup B were mostly lower. Furthermore—as has already been stated for the comparison between event-specific measurement data and representative measurements—the range of the upper percentiles was considerably lower.

Depending on the substance, differences were also observed here according to space usage. For example, the concentration levels of formaldehyde and benzothiazole were higher in classrooms than in residential spaces. Ethyl acetate and limonene were detected at higher concentration levels in residential spaces.

Different distributions of concentration levels were found for the subgroups "first and second measurement" as well as "winter and summer." In the majority of the cases, the first measurement had been carried out in summer. In summer, the concentration levels for some of the assessed terpenes (except for limonene), aldehydes, especially formaldehyde, but also higher aldehydes such as hexanal, as well as ketones, esters, and alkanolic acids were higher. The TVOC levels were also considerably higher in this group.

The difference between substance concentration levels in new buildings and those upgraded for energy performance was relatively small. The buildings with mechanical ventilation systems showed lower concentration levels of TVOC and formaldehyde.

ACH values were considerably lower in the spaces with window ventilation compared to the spaces with mechanical ventilation. In spaces without mechanical ventilation, the average was 0.13/h.

The measurements of VOC levels and air change rates revealed that, even at similarly low air change rates, substance concentration levels or the variation of substance concentration levels were higher in spaces with window ventilation compared to those with mechanical ventilation.

For a few individual substances, the trend of the percentile values for event-specific measurements was monitored over the observation period from 2002 to 2012. For the aromatic compounds toluene and benzene, the decreasing trend continued, even if less pronounced. In contrast, no decrease in the upper percentile values for styrene was

observed. For undecane, a decrease in concentration levels could be observed during the observation period.

The trend for the presence of halogenated hydrocarbons was clearly on the decrease. For 1,1,1-trichloroethane, for example, all percentile values were below the limit of quantification from 2007. Deviating from this general trend, ethylene dichloride was still found in elevated concentration levels in indoor air.

For n-butanol, α -pinene, and n-hexanal, a more decreasing trend could be observed. For formaldehyde, percentile values remained consistently high. For benzaldehyde, especially the upper percentiles showed an increasing trend. For TVOC, which only had been collected since 2006, the upper percentiles showed an increasing trend.

In general, the variations for the upper percentiles (P90, P95) were often greater.

The comparison of measurement data with toxicologically derived guideline values resulted for formaldehyde in the highest number of cases exceeding an action level (equivalent to Guideline Value II). In total, Guideline Value II was exceeded 148 times. In 87 cases (4% of the event-specific measurements), the guideline value for formaldehyde was exceeded; in 40 cases, the Guideline Value II, valid at the sampling date, was exceeded for naphthalene. Guideline Value I was exceeded in 737 cases, most frequently for naphthalene and benzaldehyde.

None of the measurements for the flame retardant tris(2-chloroisopropyl)phosphate exceeded guideline values.

Statistical assessments of event-specific indoor air assessments provide important insights into the composition and concentration levels of substances found in indoor air. For this project, measurement results from event-specific indoor air assessments as well as specifically selected assessments were made available at a timely manner and analyzed for a large range of substances. Due to the assessment procedure that has been developed within the framework of this research project, a high level of data quality was assured.

Even if for many individual substances the trend of VOC concentration levels in indoor spaces is decreasing, the sum total of the VOC concentration levels continues to be high despite the currently implemented strategies for minimizing emissions from products and building materials. In individual cases, very high concentration levels occurred.

In the context of the continued efforts to promote saving energy, optimizing indoor air quality and energy efficiency will remain a challenge. Even though, in many individual cases, it could be demonstrated that those are not necessarily opposing goals, a deeper understanding of the interactions of the essential and basic influencing factors is often lacking in the building trades.

Based on the measurement results, solution-based strategies for reducing VOC levels in indoor air at various levels of intervention are presented.

The data pool provides options for extensive data analysis, which have only been employed to some extent within the framework of this project. For translating the results into practical applications, it would be very desirable to pursue additional and more detailed analyses.

To be able to apply statistical assessment tools, the monitoring of frequency distributions must be continued and the analysis methods must keep up with new developments. The experience gained through this project and the associated structure developed for data collection allow for the continuation of the project and for the regular updating of the data.

21. Verzeichnisse

21.1 Literatur

- AGÖF (2010)*: AGÖF-Leitfaden: Gerüche in Innenräumen – Sensorische Bestimmung und Bewertung. Entwurf. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 23. und 24.10.2010 in Nürnberg
- AGÖF (2013)*: AGÖF-Leitfaden: Gerüche in Innenräumen – Sensorische Bestimmung und Bewertung. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg
- AGÖF (2013)*: AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit (2013). Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg, 8-36
- AGÖF (2013)*: AGÖF-Qualitätsrichtlinien.
http://agoef.de/agoef/mitglieder/agoef_qualitaetsrichtlinien.html, Stand 12.03.2013
- AgBB (2012)*: Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten.
http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/agbb_bewertung-schema_2012.pdf
- Coutalides R (2009)*: LIWOTEV-Report, Luftqualität in Wohnbauten mit tiefem Energieverbrauch, Bau- und Umweltchemie Beratungen + Messungen AG Zürich (Hrsg.), Schweiz
- Diefenbach N, Cischinsky H, Rodenfels M, Clausnitzer K-D (2010)*: Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
- DIN ISO 16000-3 (2001)*: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen – Probenahme mit einer Pumpe.
- DIN ISO 16000-5 (2007)*: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC).
- DIN ISO 16000-6 (2004)*: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID.
- Grams H, Hehl O, Dreesmann J (2004)*: Niedersächsisches Schulmessprogramm: Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Raumluftqualität in Klassenräumen sowie Modellierung von Kohlendioxidverläufen. Niedersächsisches Landesgesundheitsamt Hannover
- Hofmann H, Plieninger P (2008)*: Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft. WaBoLu-Hefte 05/08; Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
<http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2008/6696/pdf/3637.pdf>
- Hofmann H, Köhler M, Plieninger P (2010)*: AGÖF-Forschungsprojekte zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft – Hintergrundbelastungen für VOC. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg, 14-21
- Hofmann H (2011)*: Literaturstudie zu VOC-Emissionen aus Fugendichtmassen nach E DIN 15651-1 und E DIN 15651-2. Erstellt im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Förderungsnummer ZP 52-5-20.67-1362/10, Band T 3255, Fraunhofer IRB Verlag

- Hofmann H (2012):* Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen aus Fugendichtstoffen nach der E DIN EN 15651-1 und E DIN EN 15651-2. Erstellt im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Förderungsnummer ZP 52-5-20.68-1381/11; Band T 3276, Fraunhofer IRB Verlag
- IWU (2003):* Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
- Krause C, Chutsch M, Henke M, Huber M, Kliem C, Leiske M, Mailahn W, Schulz C, Schwarz E, Seifert B, Ullrich D (1991):* Umweltsurvey Band IIIc Wohn-Innenraum: Raumluft; Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Eigenverlag, Berlin
- KUS (2008): Müssig-Zufika M, Becker K, Konrad A, Schulz C, Seiffert I, Seiwert M, Lusansky C, Pick-Fuß H, Kolossa-Gehring M:* Hausstaub: Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten mit Kindern in Deutschland. Kinder- und Umweltsurvey 2003/06 KUS. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3356.pdf>
- Lausmann D, Braun P (2001):* Luftwechselbestimmung mittels CO₂, In: AGÖF – Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (Hrsg.): Umwelt, Gebäude und Gesundheit. Von Energieeffizienz zur Raumlufthygiene. Ergebnisse des 6. Fachkongresses der AGÖF, Springe-Eldagsen
- Lux W, Mohr S, Heinzow B, Ostendorp G (2001):* Belastung der Raumluft privater Neubauten mit flüchtigen organischen Verbindungen. Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 44, 619-624
- Kah O, Pfluger R, Feist W (2005):* Luftwechselraten in bewohnten sehr luftdichten Gebäuden mit kontrollierter Wohnungslüftung / Monitoring in einem Passivhaus-Geschosswohnbau. Passivhaus Institut; Darmstadt. http://www.passiv.de/downloads/05_luftqualitaet.pdf
- 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
- Marchl D, Kafadaroglu B (2010):* Veränderungen des Belastungsspektrums im Innenraum. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg, 62-68
- Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2013):* Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein. Teil: 4 Neubauten für Schulen und Kindergärten, Kiel
- Neumann H-D, Buxtrup M, Weber M, von Hahn N, Koppisch D, Breuer D, Hahn J-U (2012):* Vorschlag zur Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten in Schulen. Gefahrstoffe-Reinhalung der Luft 72(5), 219-297
- Nix N (2013):* Ist in Schulen eine freie Fensterlüftung möglich? Erste Ergebnisse einer Feldstudie der Stadt Nürnberg. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg, 228-241

- Ostendorf G, Riemer D, Harmel K, Heinzow B (2009):* Aktuelle Hintergrundwerte zur VOC-Belastung in Schulen und Kindergärten in Schleswig-Holstein. Umweltmedizin in Forschung und Praxis 14(3), 135-152
- Schlechter N, Pohl K, Barig A, Kupka S, Kleine H, Gabriel S, Van Gelder R, Lichtenstein N, Hennig M (2004):* Beurteilung der Raumluftqualität an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 64(3), 95-99
- Schleibinger H, Hott U, Marchl D, Braun P, Plieninger P, Rüden H (2001):* VOC-Konzentrationen in Innenräumen des Großraumes Berlin im Zeitraum von 1989 bis 1999. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 61, 26-38
- Scholz H (1998):* Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bedeutung. In: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): - Ergebnisse des 4. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 25. und 26. September 1998 in Nürnberg, 205-214
- Seifert B (1999):* Richtwerte für die Innenraumluft: Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 42, 270-278
- Tappler P (2010):* Leitfaden der AGÖF und des österreichischen Umweltministeriums: „Gerüche in Innenräumen – sensorische Bestimmung und Bewertung“. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg, 22-24
- Tappler P, Hutter H-P, Hengsberger H, Ringer W, Munoz-Czerny U, Damberger B, Twrdik F, Totghele K, Kundi M, Wanka A, Wallner P (2014):* Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern. Endbericht
- Tilgner B (2013):* Handlungsanweisungen für die Freimessung nach Neu-, Um- und Erweiterungsbauten der Stadt Nürnberg. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg, 74-82
- Twrdik F, Tappler P (2013):* Zukunftstaugliche Komfortlüftungssysteme – Aktuelle Untersuchungen zu Hygiene und Reinigungsmöglichkeiten kontrollierter Wohnraumlüftungen. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Tagungsband zum 10. Fachkongress der AGÖF vom 24. und 25.10.2013 in Nürnberg, 242-249
- Umweltbundesamt (2006):* Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 49, 1169
- Umweltbundesamt (2007):* Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 50, 990 – 1005
- Umweltbundesamt (2008):* Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten in Deutschland. Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 1, 109-112
- Umweltbundesamt (2013):* Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten: Entwurf der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission und der Obersten Landesgesundheitsbehörden zur öffentl. Disussion bis Ende 2015. Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 57, 148 – 153

Umweltbundesamt (2013): Richtwerte Ad-hoc Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygienekommission (IRK) des Umweltbundesamtes sowie der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) für die Innenraumluft. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ad-hoc-arbeitsgruppe-innenraumrichtwerte>

21.2 Tabellen

Tabelle 1 Anzahl der ZI und der Anlässe mit Einfach- und Mehrfachnennungen für die entsprechende Untersuchung.....	21
Tabelle 2 Angaben über die Anzahl und den Anteil von ZI-Datensätzen mit modernisierten Gebäuden.	25
Tabelle 3 Anzahl der ZI pro Gebäudenutzung mit Ein- und Mehrfachnennungen.	26
Tabelle 4 Anzahl der Räume, die ein- oder mehrfach beprobt wurden.	29
Tabelle 5 Anzahl und Anteil der Räume je Belüftungstyp.	31
Tabelle 6 Anzahl der Räume unterteilt nach der Art der Renovierung mit Ein- und Mehrfachnennungen.	36
Tabelle 7 Anzahl der ZI-Datensätze unterteilt nach Untersuchungsziel.	39
Tabelle 8 Anzahl und Anteil der ZI-Datensätze unterteilt nach Lüftungsbedingungen.....	40
Tabelle 9 Angaben zur Geruchsintensität und der Anzahl der jeweiligen ZI-Datensätze.....	41
Tabelle 10 Anzahl und Summe der Probenahmen pro ZI.	45
Tabelle 11 Anzahl und Anteil der Messwerte je Methodentyp.....	45
Tabelle 12 Anzahl der Stoffe (alle Stoffe, Stoffe mit mehr als 20 Messwerten und davon Stoffe, die immer < BG bestimmt wurden) und Messwerte pro Stoffgruppe.	46
Tabelle 13 Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum, Büro, Klassenraum.	53
Tabelle 14 Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Lüftungsbedingungen „gelüftet“ und „ungelüftet“.	57
Tabelle 15 Vergleich der Stoffkonzentrationen ausgewählter Stoffe zwischen den Baualtersklassen.....	62
Tabelle 16 Vorschlag für die Bildung von vereinfachten Gebäudekategorien (ohne Berücksichtigung teilsanierter Gebäude) für Wohngebäude anhand des Heizwärmebedarfs nach Burkhard Schulze Darup.....	64
Tabelle 17 Anzahl und Anteil der Gebäude, die von den jeweiligen Instituten beprobt wurden.	67
Tabelle 18 Verteilung und Anteil der Gebäude nach Postleitzahlenbereichen.	68
Tabelle 19 Auflistung aller für Teil B ausgewählten Wohngebäude und Angaben zum Gebäudetyp, Energiestandard, Baujahr, Modernisierung und Lüftungstyp.	70
Tabelle 20 Auflistung aller für Teil B ausgewählten Schulen und Angaben zum Schultyp, Energiestandard, Baujahr, Modernisierung und Lüftungstyp.....	72
Tabelle 21 Anzahl und Anteil der Gebäude an den verschiedenen Bautypen.....	73
Tabelle 22 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach Altersklassen.....	74
Tabelle 23 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach Modernisierung und Neubau.	75
Tabelle 24 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach Energiestandards und Baubesonderheiten.	75
Tabelle 25 Anzahl Gebäude mit angegebener Geschossanzahl.....	75
Tabelle 26 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach Bodenbelag.....	76

Tabelle 27 Anzahl der Schul- und Wohngebäude und der Gesamtgebäude unterteilt nach Wandverkleidung.....	76
Tabelle 28 Anzahl der Schul- und Wohngebäude und der Gesamtgebäude unterteilt nach der Verkleidung der Decke.	76
Tabelle 29 Anzahl der Schul- und Wohngebäude unterteilt nach der Art der Renovierung. ...	77
Tabelle 30 Anzahl der Schul- und Wohngebäude und Gesamtgebäude unterteilt nach dem Zeitpunkt der Renovierung.	77
Tabelle 31 Anzahl der Schul- und Wohngebäude mit besonderer Raumsituation.....	78
Tabelle 32 Anzahl der Schul- und Wohngebäude mit Fensterlüftung und technischen Lüftungsanlagen.....	78
Tabelle 33 Statistische Kennwerte der Luftwechselraten [h] für Schulräume, Wohnräume und alle Gebäude.	78
Tabelle 34 Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum, Klassenraum.....	84
Tabelle 35 Vergleich der Perzentile (P90 und P95) ausgewählter Stoffe zwischen den Raumnutzungstypen Wohnraum, Klassenraum.....	84
Tabelle 36 Anzahl der Stichproben, p-Werte des Mann-Whitney U-Tests und R und p-Werte der Spearman-Korrelationen zwischenden Stoffkonzentrationen und den LWR (getrennt für Fensterlüftung und technische Lüftung) für ausgewählte Stoffe.....	89
Tabelle 37 Anzahl der Richtwertüber- und unterschreitungen für Einzelstoffe.	114

21.3 Abbildungen

Abbildung 1 Beispiel für die Eingabemaske „Zusatzinformationen“ .	12
Abbildung 2 Messwerteingabe über das Tool VOCDB-IT 2.0.	13
Abbildung 3 Vereinfachtes Datenbankschema der VOCDB 2.0.	14
Abbildung 4 Userinterface für den Importworkflow (hier mit Meldungen zum Test von temporären Daten, beim Versuch diese ohne vorheriges Löschen bereits importierter Daten erneut zu erfassen).	16
Abbildung 5 Formular zum Editieren von Einzelstoffen (hier n-Dodecan).	17
Abbildung 6 Kennwertauswertung sowie Messwert- und Zusatzinfobereitstellung für eine nach Raumeigenschaften und Stoffen (hier nicht sichtbar) gefilterte Anfrage.	18
Abbildung 7 Anzahl aller gelieferten ZI-Datensätze pro Institut.	20
Abbildung 8 Anlass der Untersuchung. Angabe der Anzahl der ZI-Datensätze pro Anlass (Nennungen getrennt).	22
Abbildung 9 Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Postleitzahlenbereich.	23
Abbildung 10 Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Bauweise.	24
Abbildung 11 Prozentuale Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Bauweise bezogen auf die Gesamtzahl von 4846 ZI-Datensätzen.	24
Abbildung 12 Prozentuale Häufigkeit der ZI-Datensätze pro Altersklasse.	25
Abbildung 13 Anzahl der ZI pro Gebäudenutzung mit zusätzlicher Angabe des Anteils an allen ZI-Datensätzen in Klammern.	27
Abbildung 14 Anzahl ZI-Datensätze pro Anzahl Geschosse des Gebäudes mit zusätzlicher Angabe des Anteils an allen ZI-Datensätzen in Klammern.	28
Abbildung 15 Anzahl der Räume je Nutzungstyp und zusätzliche Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.	30
Abbildung 16 Anzahl der Räume mit dem jeweiligen Fußbodenbelag und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.	32
Abbildung 17 Anzahl der Räume mit Angabe der jeweiligen Art der Wandverkleidung und der zusätzlichen Angabe der Anteile an der Gesamtzahl der Räume in Klammern.	33
Abbildung 18 Anzahl der Räume mit Angabe der jeweiligen Art der Deckenverkleidung und der zusätzlichen.	34
Abbildung 19 Anzahl der Art der Renovierung einzeln aufgelistet. Pro Raum konnten Mehrfachnennungen auftreten.	35
Abbildung 20 Anzahl der Räume und der Zeit seit der letzten Renovierung.	37
Abbildung 21 Anzahl und Anteil (in Klammern) der ZI-Datensätze pro Jahr.	38
Abbildung 22 Anzahl und Anteil (in Klammern) der ZI-Datensätze pro Monat.	38
Abbildung 23 Anzahl der ZI-Datensätze unterteilt nach Untersuchungsziel.	40
Abbildung 24 Häufigkeiten der Raumtemperatur [C°] während der Probenahme.	43
Abbildung 25 Relative Luftfeuchte [%] während der Probenahme.	44
Abbildung 26 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – Cyclohexan.	54
Abbildung 27 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – Limonen.	54
Abbildung 28 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – Formaldehyd.	55

Abbildung 29 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – EGMB.	55
Abbildung 30 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – Benzothiazol.	56
Abbildung 31 Stoffkonzentrationen für 3 Nutzungstypen – 2-Butanonoxim.....	56
Abbildung 32 Abklingverhalten von m,p-Xylol mit zunehmender Zeit seit der Renovierung. .	59
Abbildung 33 Abnahme von 2,2,4,6,6-Pentamethylheptan mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.....	59
Abbildung 34 Abnahme von 2-Butanon mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.....	60
Abbildung 35 Abnahme von EGMP mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.	60
Abbildung 36 Kein Abklingen von Limonen mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.	61
Abbildung 37 Kein Abklingen von Formaldehyd mit zunehmender Zeit seit der Renovierung.	61
Abbildung 38 Median, 90. und 95. Percentile der TVOC-Konzentrationen für die Energieklassen (Baujahre) und Lüftungstypen.	65
Abbildung 39 Median, 90. und 95. Percentile der Formaldehydkonzentrationen für die Energieklassen (Baujahre) und Lüftungstypen.	66
Abbildung 40 Anzahl der Gebäude getrennt nach Wohnungen und Schulen, die von den jeweiligen Instituten beprobt wurden.....	68
Abbildung 41 Verteilung und Anzahl von Schulen und Wohngebäuden nach Postleitzahlenbereichen.	69
Abbildung 42 Anzahl und Anteil (in Klammern) der Gebäude an den verschiedenen Bautypen unterteilt nach Schulen und Wohngebäuden.	73
Abbildung 43 Anzahl und Anteil (in Klammern) der Wohn- und Schulgebäude unterteilt nach Altersklassen.....	74
Abbildung 44 Luftwechselrate (LWR) in Räumen mit Fensterlüftung und technischen Lüftungsanlagen.....	79
Abbildung 45 Termine der Erst- und Zweitmessungen für alle 31 untersuchten Wohngebäude.....	81
Abbildung 46 Termine der Erst- und Zweitmessungen für alle 20 untersuchten Schulgebäude.	82
Abbildung 47 Lüftungstyp in den untersuchten Schul- und Wohnräumen.	83
Abbildung 48 Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) unter Einbeziehung 34 chemischer Verbindungen und von Gebäudemerkmalen.	88
Abbildung 49 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für Formaldehyd.	91
Abbildung 50 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für Benzaldehyd.	92
Abbildung 51 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für Styrol.....	93
Abbildung 52 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für 1-Pentanol.....	94
Abbildung 53 Zwei Grafiken zur Abhängigkeit der Stoffkonzentration von der Luftwechselrate (LWR) und der Stoffkonzentration zwischen Lüftungstypen für 2-Ethyl-1-hexanol.....	95
Abbildung 54 Anzahl der ZI-Datensätze aus der VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0 über den gesamten zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012.....	96

Abbildung 55 Anteil der Messwerte je Methodentyp pro Jahr aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.....	97
Abbildung 56 Konzentrationen von Toluol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.....	98
Abbildung 57 Konzentrationen von Benzol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.....	98
Abbildung 58 Konzentrationen von Styrol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.....	99
Abbildung 59 Konzentrationen von n-Undecan in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	99
Abbildung 60 Konzentrationen von 1,1,1-Trichlorethan in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.....	100
Abbildung 61 Konzentrationen von 2-Ethylhexanol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	100
Abbildung 62 Konzentrationen von n-Butanol in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	101
Abbildung 63 Konzentrationen von EGMB (Ethylenglykolmonobutylether) in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	101
Abbildung 64 Konzentrationen von Formaldehyd in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	102
Abbildung 65 Konzentrationen von n-Hexanal in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	102
Abbildung 66 Konzentrationen von alpha-Pinen in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	103
Abbildung 67 Konzentrationen von Benzaldehyd in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	103
Abbildung 68 Konzentrationen von Butylacetat in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	104
Abbildung 69 Konzentrationen von 2-Butanonoxim in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.	104
Abbildung 70 Konzentrationen von n-Methylpyrrolidon in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2002 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.....	105
Abbildung 71 Konzentrationen von TVOC in Innenräumen im zeitlichen Verlauf von 2006 bis 2012 unter Einbeziehung der Daten aus VOC DB 1.0 und VOC DB 2.0.....	105

21.4 Verwendete Begriffe und Abkürzungen

AG	Auftraggeber
AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
AGÖF	Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute
AK	Aktivkohle
AOLG	Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden
AM	Arithmetischer Mittelwert
BG	Bestimmungsgrenze
BGA	Bundesgesundheitsamt
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
CAS-Nummern	Nummern des Chemical Abstract Service
DACH	Deutsche Akkreditierungsstelle Chemie
DAP	Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen
DB	Datenbank
DENA	Deutsche Energie-Agentur
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNPH	2,4-Dinitrophenylhydrazin, dient als Nachweisreagenz für Carbonyle
DS	Datensatz: Ein Datensatz ist eine abgeschlossene Einheit von Informationen innerhalb einer Datenbank. Datensätze beinhalten inhaltlich zusammengehörende Datenfelder, zum Beispiel für die Abfrageformulare bei der Dateneingabe, die in der Datenbank in Zeilen dargestellt werden
ECA	European Collaborative Action
EGMB	Ethylenglykolmonobutylether
EGMP	Ethylenglykolmonophenylether
EN	Europäische Norm
ENEV	Energieeinsparverordnung
FID	Flammenionisationsdetektor
FKZ	Förderkennzeichen
FSM	Flammschutzmittel
GC	Gaschromatographie
GM	Geometrischer Mittelwert
HKW	Halogenierte Kohlenwasserstoffe

HPLC	Hochdruckflüssigkeitschromatographie (High Pressure Liquid Chromatographie)
IT	Import-Tool: Satz von Eingabemasken zur Eingabe der Messwerte und Begleitinformationen auf der Grundlage von MS Excel
IRK	Innenraumlufthygiene-Kommission
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
LA	Lüftungsanlage
LDS	Lösemitteldesorption
LW	Luftwechsel
LWR	Luftwechselrate
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
Misch	Mischverfahren
Mischverfahren	Einsatz mehrerer Messverfahren für gleiche Stoffe, Mittelung der Ergebnisse
Mod	Modernisierung
MS	Massenselektiver Detektor
MW	Arithmetischer Mittelwert
MVOC	Mikrobiell erzeugte flüchtige organische Verbindungen
N	Stichprobenumfang
NEH	Niedrigenergiehaus
P	Perzentil, statistische Kenngröße, die den Wert angibt, der von der genannten Prozentzahl der Werte unterschritten wird
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PH	Passivhaus
PLZ	Postleitzahl
PN	Probenahme
Prüfziel	Ziel des Messauftrages

PUF	Polyurethanschaum, Probenahmeadsorbens für Flammenschutzmittel
QS	Qualitätssicherung
Quartilsabstand	Der Quartilsabstand zwischen dem ersten und dritten Quartil einer Stichprobe wird als Kenngröße für die Bandbreite der in der Stichprobe erfassten Variablen verwendet.
RLT	raumluftechnische Anlage
RW	Richtwert: Hier für Formaldehyd und Richtwerte der Ad-hoc Arbeitsgruppe IRK/AOLG
S _{id}	Summe identifizierter und substanzspezifisch quantifizierter Substanzen im Bereich C ₆ – C ₁₆
S _{nid}	Summe nicht identifizierter und über Toluol quantifizierter Substanzen im Bereich C ₆ – C ₁₆
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)
TDS	Thermodesorption
TDS-MS	Thermodesorption mit massenselektiver Detektion
TVOC Gesamtsumme	Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (Total Volatile Organic Compounds) berechnet nach der 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
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOC	Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds)
VOCDB 1.0	Kurzbezeichnung für die im Rahmen des Vorhabens VOC DB I erstellte VOC-Datenbank
VOCDB 2.0	Kurzbezeichnung für die im Rahmen des Vorhabens VOC DB II erstellte VOC-Datenbank
VOC DB I	Erstes Forschungsvorhaben „Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumlufte“
VOC DB II	Zweites Forschungsvorhaben „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftequalität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in

	der Innenraumlufte von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“
VOCDB-IT 2.0	Datenerfassungs-Tool für VOCDB 2.0
VOCDB-UI 2.0	Userinterface (Auswertungstool) für VOCDB 2.0
VVOC	Sehr flüchtige organische Verbindungen (very volatile organic compounds) außerhalb des TVOC (< C ₆)
WRG	Wärmerückgewinnung
WSV	Wärmeschutzverordnung
XAD	Polymerharz, Probenahmeadsorbens hier für Aldehyde
ZI-Datensatz	Einheit an Zusatzinformationen eines Datensatzes
ZI	Zusatzinfo: Alle Angaben aus dem Tabellenblatt Zusatzinfo